

Еврокод 3
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Часть 1-9. Усталостная прочность

Еўракод 3
ПРАЕКТАВАННЕ СТАЛЬНЫХ КАНСТРУКЦЫЙ
Частка 1-9. Стомленасная трываласць

(EN 1993-1-9:2005, IDT)

Издание официальное

УДК 624.014.2.046(083.74)

МКС 91.010.30; 91.080.10

КП 06

IDT

Ключевые слова: несущие конструкции, основы проектирования, сопротивление усталости, предел выносливости, усталостная долговечность

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 ПОДГОТОВЛЕН научно-проектно-производственным республиканским унитарным предприятием «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»)

ВНЕСЕН главным управлением научно-технической политики и лицензирования Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 10 декабря 2009 г. № 404

В Национальном комплексе технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства настоящий технический кодекс установившейся практики входит в блок 5.04 «Металлические конструкции и изделия»

3 Настоящий технический кодекс установившейся практики идентичен европейскому стандарту EN 1993-1-9:2005 Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-9: Fatigue (Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-9. Усталостная прочность).

Европейский стандарт разработан техническим комитетом по стандартизации CEN/TC 250 «Еврокоды конструкций».

Перевод с английского языка (en).

Официальные экземпляры европейского стандарта, на основе которого подготовлен настоящий технический кодекс установившейся практики, и европейских стандартов, на которые даны ссылки, имеются в Национальном фонде ТНПА.

В разделе «Нормативные ссылки» и тексте технического кодекса установившейся практики ссылочные европейские стандарты актуализированы.

Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочным европейским стандартам приведены в дополнительном приложении Д.А.

Степень соответствия — идентичная (IDT)

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Минстройархитектуры, 2010

Настоящий технический кодекс установившейся практики не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

**ЕВРОПЕЙСКИЙ СТАНДАРТ
EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE**

МКС 91.010.30; 91.080.10

Белорусская редакция

**Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций.
Часть 1-9. Усталостная прочность**

Настоящий технический кодекс установившейся практики разработан на основе европейского стандарта, принятого CEN 23 апреля 2004 г.

Члены Европейского комитета по стандартизации (CEN) обязаны выполнять регламент CEN/CENELEC, в котором содержатся условия, при которых европейскому стандарту придается статус национального стандарта без каких-либо изменений. Актуализированные списки данных национальных стандартов с их библиографическими данными можно получить в центральном секретариате или у любого члена CEN по запросу.

Европейский стандарт разработан в трех официальных редакциях (на немецком, английском, французском языках). Перевод стандарта, выполненный членом Европейского комитета по стандартизации под собственную ответственность на язык его страны и сообщенный центральному секретариату, имеет такой же статус, как и официальные редакции.

Членами Европейского комитета по стандартизации (CEN) являются национальные организации по стандартизации Бельгии, Болгарии, Дании, Германии, Эстонии, Финляндии, Франции, Греции, Ирландии, Исландии, Италии, Латвии, Литвы, Люксембурга, Мальты, Нидерландов, Норвегии, Австрии, Польши, Португалии, Румынии, Швеции, Швейцарии, Словакии, Словении, Испании, Чешской Республики, Венгрии, Великобритании и Кипра.



Европейский комитет по стандартизации
Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization
Comitee Europeen de Normalisation

Введение к Еврокодам

В 1975 г. Комиссия Европейского сообщества приняла решение о применении программы в области строительства, основанное на статье 95 Соглашения. Целью программы являлось устранение технических препятствий деловой активности и стандартизация технических условий.

В данной программе действий Комиссия проявила инициативу по определению совокупности гармонизированных технических правил для проектирования строительных работ, которые на начальной ступени выступали бы в качестве альтернативы действующим национальным правилам в странах-членах и впоследствии заменяли бы их.

На протяжении 15 лет Комиссия при помощи руководящего комитета представителей стран-членов осуществляла разработку программы Еврокодов, что привело к появлению первого поколения Еврокодов в 1980-е годы.

В 1989 г. Комиссия и страны-члены ЕС и ЕАСТ на основании соглашения¹⁾ между Комиссией и CEN приняли решение о передаче подготовки и издания Еврокодов посредством ряда мандатов с целью предоставления им будущего статуса европейского стандарта (EN). Это фактически связывает Еврокоды с положениями Директив Совета и/или постановлениями Комиссии, рассматривающими европейские стандарты (например, Директива Совета 89/106/ЕЕС по строительным изделиям — CPD — и Директивы Совета 93/37/ЕЕС, 92/50/ЕЕС и 89/440/ЕЕС по общественным работам и услугам и аналогичные ЕАСТ Директивы, цель которых состоит в создании внутреннего рынка). Программа Еврокодов конструкций включает следующие стандарты, как правило, состоящие из частей:

- EN 1990 Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций
- EN 1991 Еврокод 1. Воздействия на конструкции
- EN 1992 Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций
- EN 1993 Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций
- EN 1994 Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций
- EN 1995 Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций
- EN 1996 Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций
- EN 1997 Еврокод 7. Геотехническое проектирование
- EN 1998 Еврокод 8. Проектирование сейсмостойких конструкций
- EN 1999 Еврокод 9. Проектирование алюминиевых конструкций.

Еврокоды устанавливают обязанности распорядительных органов в каждой из стран-членов и гарантируют их право определять значения вопросов регулирования безопасности на национальном уровне, отличающиеся у различных государств.

Статус и область применения Еврокодов

Страны-члены ЕС и ЕАСТ признают, что Еврокоды выступают в качестве ссылочных документов в следующих целях:

- как средство подтверждения соответствия строительных работ и работ по гражданскому строительству основополагающим требованиям Директивы Совета 89/106/ЕЕС, в частности основополагающему требованию № 1 — Механическое сопротивление и устойчивость — и основополагающему требованию № 2 — Безопасность в случае пожара;
- как основание для изложения договоров на строительные работы и относящиеся к ним инженерно-конструкторские услуги;
- как структура составления гармонизированных технических условий на строительные изделия (EN и ETA).

¹⁾ Соглашение между Комиссией Европейского сообщества и Европейским комитетом по стандартизации (CEN), относящееся к работе над Еврокодами по проектированию зданий и работ по гражданскому строительству (BC/CEN/03/89).

Еврокоды, поскольку они непосредственно касаются строительных работ, имеют прямое отношение к разъясняющим документам²⁾, на которые приводится ссылка в статье 12 CPD, хотя они отличаются от гармонизированных стандартов на изделия³⁾. Следовательно, техническим комитетам CEN и/или рабочим группам EOTA, работающим над стандартами на изделия с целью достижения полного соответствия данных технических требований Еврокодам, следует соответствующим образом рассмотреть технические аспекты действия Еврокодов.

Еврокоды устанавливают общие правила проектирования, расчета и определения параметров как самих конструкций, так и отдельных конструктивных элементов, которые пригодны для обычного применения. Они касаются как традиционных методов строительства, так и аспектов инновационного применения, но при этом не содержат правил для нестандартных конструкций или специальных решений, для которых необходимо привлекать экспертов.

Национальные стандарты, обеспечивающие выполнение Еврокодов

Национальные стандарты, обеспечивающие выполнение Еврокодов, содержат полный текст Еврокода (включая приложения), изданного CEN, которому может предшествовать национальный титульный лист с национальным предисловием и национальное приложение (справочное).

Национальное приложение может содержать только информацию о параметрах, оставленных открытыми в Еврокоде по национальному усмотрению, известных как «национально определенные параметры», используемые для работ по проектированию зданий и гражданскому строительству в рассматриваемой стране, т. е.:

- значения и/или классы, альтернативы которых приведены в Еврокоде;
- используемые значения, обозначения которых приведены в Еврокоде;
- специальную информацию о стране (географическая, климатическая и т. д.), например карта снежного покрова;
- используемые методы, альтернативы которых приведены в Еврокоде, который также может содержать:
 - рекомендации по применению справочных приложений;
 - ссылки на непротиворечивую дополнительную информацию для содействия пользователю в применении Еврокода.

Связь Еврокодов и гармонизированных технических требований (ENs и ETAs) на изделия

Существует необходимость согласования гармонизированных технических условий на строительные изделия и технических правил на выполнение строительных работ⁴⁾. В частности, информация, сопровождающая CE-маркировку строительных изделий, должна четко устанавливать, какие параметры, установленные на национальном уровне (NDP), положены в основу.

Национальное приложение к техническому кодексу установившейся практики EN 1993-1-9

Европейский стандарт содержит символы и отдельные альтернативные методы, для которых на национальном уровне должно указываться значение или соответствующий выбор. Для этого в соответствующую национальную редакцию EN 1993-1-9 включают национальное приложение с параметрами, устанавливаемыми на национальном уровне, которое делает возможным расчет конструкций зданий и инженерных сооружений, возводимых в конкретной стране.

²⁾ В соответствии с пунктом 3.3 CPD существенным требованиям (ER) необходимо придать определенную форму в разъясняющих документах для создания необходимых связей между существенными требованиями и мандатами для гармонизированных EN и ETAG/ETA.

³⁾ В соответствии со статьей 12 CPD разъясняющие документы должны:

- a) приводить в определенную форму существенные требования посредством стандартизации терминологии и технических основ и указания классов или уровней для каждого требования, где это необходимо;
- b) устанавливать методы соотношения данных классов или уровней требований с техническими условиями, например, методами расчета и доказательства, техническими правилами для проектной разработки и т. д.;
- c) выступать в качестве ссылки для введения гармонизированных стандартов и руководства для европейского технического утверждения.

⁴⁾ См. статью 3.3 и статью 12 Директивы на строительные изделия, а также разделы 4.2, 4.3.1, 4.3.2 и 5.2 Основополагающего документа № 1.

Национальный выбор допускается в следующих элементах стандарта EN 1993-1-9:

- 1.1(2);
- 2(2);
- 2(4);
- 3(2);
- 3(7);
- 5(2);
- 6.1(1);
- 6.2(2);
- 7.1(3);
- 7.1(5);
- 8(4).

Национальное введение

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее — технический кодекс) подготовлен на основе европейского стандарта EN 1993-1-9:2005 с идентичной степенью соответствия, разработанного CEN/TC 250 «Еврокоды конструкций».

Ответственным органом по подготовке технического кодекса является научно-проектно-производственное республиканское унитарное предприятие «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»).

Настоящий технический кодекс является частью группы ТНПА, рассматривающих проектирование конструкций, которые предназначены для применения в виде «комплекса».

Содержание

| | |
|---|----|
| 1 Общие положения..... | 1 |
| 1.1 Область применения..... | 1 |
| 1.2 Нормативные ссылки..... | 1 |
| 1.3 Термины и определения..... | 2 |
| 1.4 Условные обозначения..... | 3 |
| 2 Основные требования и методы..... | 4 |
| 3 Методы оценки..... | 4 |
| 4 Напряжения от усталостных воздействий..... | 5 |
| 5 Определение напряжений..... | 6 |
| 6 Определение размахов напряжений цикла..... | 7 |
| 6.1 Общие положения..... | 7 |
| 6.2 Расчетное значение номинального размаха напряжений цикла..... | 7 |
| 6.3 Расчетное значение измененного номинального размаха напряжений цикла..... | 8 |
| 6.4 Расчетные значения размаха напряжений цикла для сварных соединений полых профилей..... | 8 |
| 6.5 Расчетное значение размаха напряжений цикла для максимального локального напряжения..... | 8 |
| 7 Предел выносливости..... | 8 |
| 7.1 Общие положения..... | 8 |
| 7.2 Изменение предела выносливости..... | 11 |
| 8 Расчет на выносливость..... | 11 |
| Приложение А (справочное) Определение параметров усталостного нагружения и форм контроля..... | 37 |
| Приложение В (справочное) Сопротивление усталости с использованием метода локального напряжения..... | 39 |
| Приложение Д.А (справочное) Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочным европейским стандартам..... | 41 |
| Национальное приложение..... | 42 |

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ

**Еврокод 3
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Часть 1-9. Усталостная прочность****Еўракод 3
ПРАЕКТАВАННЕ СТАЛЬНЫХ КАНСТРУКЦЫЙ
Частка 1-9. Стомленасная трываласць****Eurocode 3
Design of steel structures
Part 1-9. Fatigue**

Дата введения 2010-01-01

1 Общие положения**1.1 Область применения**

(1) ТКП EN 1993-1-9 предоставляет методы для оценки сопротивления усталости элементов конструкций, соединений и узлов, подвергающихся действию переменных нагрузок.

(2) Эти методы основываются на испытаниях на усталость крупноразмерных образцов, с учетом влияния конструктивных и структурных дефектов, связанных с производством и изготовлением конструкций (например, влияние допусков и остаточных напряжений при сварке).

Примечания

1 См. EN 1090 в части допусков. Выбор стандартов на изготовление может быть приведен в национальном приложении до момента опубликования EN 1090.

2 Национальное приложение может давать дополнительную информацию о требованиях по контролю изготовления.

(3) Правила применимы к конструкциям, изготовление которых соответствует EN 1090.

Примечание — В соответствующих случаях дополнительные требования указаны в таблицах категорий элементов.

(4) Методы оценки, приведенные в данной части, применимы ко всем маркам строительных сталей и нержавеющей сталей, за исключением специально отмеченных в таблицах категорий элементов. Данная часть относится только к материалам, соответствующим требованиям прочности EN 1993-1-10.

(5) Данная часть не охватывает методы оценки усталости, отличные от методов расчетов по кривым усталости $\Delta\sigma_R - N$, такие как метод определения концентрации напряжений в надрезе или методы механики разрушения.

(6) Данная часть не охватывает методы с учетом обработки после изготовления, предназначенные для повышения сопротивления усталости, отличные от удаления остаточных напряжений.

(7) Сопротивление усталости, рассматриваемое в данной части, соответствует конструкциям, работающим при нормальных атмосферных условиях, имеющим достаточную защиту от коррозии и регулярное обслуживание. Эффект морской коррозии не рассматривается. Микроструктурные повреждения от высокой температуры ($>150^\circ$) не рассматриваются.

1.2 Нормативные ссылки

Для применения настоящего технического кодекса необходимы следующие ссылочные документы. Для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного документа (включая все его изменения).

- EN 1090 Изготовление стальных конструкций. Технические требования
- EN 1990 Основы проектирования несущих конструкций
- EN 1991 Воздействия на конструкции
- EN 1993 Проектирование стальных конструкций
- EN 1994-2 Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Часть 2. Мосты.

1.3 Термины и определения

В настоящем техническом кодексе используются следующие термины и определения.

1.3.1 Общие

1.3.1.1 усталость (fatigue): Процесс образования и распространения трещин в элементах конструкции в результате воздействия переменного напряжения.

1.3.1.2 номинальное напряжение (nominal stress): Напряжение в исходном материале или в сварном шве, примыкающем к потенциальному месту расположения трещины, вычисленное в соответствии с теорией упругости без учета всех эффектов концентрации напряжения.

Примечание — Номинальное напряжение, как указано в данной части, может быть нормальным напряжением, касательным напряжением, главным напряжением или эквивалентным напряжением.

1.3.1.3 измененное номинальное напряжение (modified nominal stress): Номинальное напряжение, умноженное на соответствующий коэффициент концентрации напряжения K_f для учета изменения геометрических размеров поперечного сечения, не принятого во внимание при классификации конкретного элемента конструкции.

1.3.1.4 локальное напряжение (geometric stress), максимальное локальное напряжение (hot spot stress): Максимальное главное напряжение в исходном материале, действующее на границе сварного шва, с учетом эффектов концентрации напряжения, вызванных общей геометрией конкретного элемента конструкции.

Примечание — Локальные эффекты концентрации напряжения, вызванные, например, формой профиля сварного шва (которые уже включены в группы элементов в приложении В) учитывать не требуется.

1.3.1.5 остаточное напряжение (residual stress): Постоянное действующее напряжение в конструкции, которое находится в статическом равновесии и не зависит ни от какого внешнего воздействия. Остаточные напряжения могут возникать из-за напряжений проката, процессов резки, усадки сварных швов или при сборке из-за неточного изготовления деталей, вызывающих изгиб части конструкции.

1.3.2 Параметры усталостного нагружения

1.3.2.1 нагружение (loading event): Последовательность нагрузок, приложенных к конструкции, определяющих историю нагружения, обычно повторяющихся определенное количество раз за время эксплуатации конструкции.

1.3.2.2 история нагружения (stress history): Запись или вычисление изменения напряжения в конкретной точке конструкции в процессе нагружения.

1.3.2.3 метод дождевого потока (rainflow method): Конкретный метод подсчета циклов, воспроизводящий спектр размахов напряжений на основе заданной истории нагружения.

1.3.2.4 метод резервуара (reservoir method): Конкретный метод подсчета циклов, воспроизводящий спектр размахов напряжений на основе заданной истории нагружения.

Примечание — Математическое определение см. в приложении А.

1.3.2.5 размах напряжений цикла (stress range): Алгебраическая разница между двумя крайними точками конкретного цикла напряжений, выделенного в истории нагружения.

1.3.2.6 спектр размаха напряжений (stress range spectrum): Гистограмма всех размахов напряжений циклов различных величин, записанных или вычисленных для конкретного нагружения.

1.3.2.7 расчетный спектр (design spectrum): Общее число всех спектров размахов напряжений циклов в проектной долговечности конструкции, соответствующее оценке усталости.

1.3.2.8 проектная долговечность (design life): Расчетная долговечность безопасной работы конструкции, обеспечивающая с достаточной степенью вероятности исключение усталостного разрушения.

1.3.2.9 усталостная долговечность (fatigue life): Прогнозируемый период времени нагружения, который должен вызвать усталостное разрушение под воздействием расчетного спектра.

1.3.2.10 суммирование Майнера (Miner's summation): Расчет линейного накопления повреждений, основанный на гипотезе суммирования усталостных повреждений Паллмгрена-Майнера.

1.3.2.11 эквивалентный размах напряжений цикла постоянной амплитуды (equivalent constant amplitude stress range): Размах напряжений цикла постоянной амплитуды, при котором накопленное повреждение равняется накопленному повреждению расчетного спектра размахов цикла при расчете по линейной гипотезе суммирования усталостных повреждений Паллмгрена-Майнера.

Примечание — Математическое определение см. в приложении А.

1.3.2.12 усталостное нагружение (fatigue loading): Набор параметров воздействия, основанный на характерных нагружениях, описанных для мест приложения нагрузок их величинами, частотами, последовательностью и относительными фазами.

Примечания

1 Усталостные воздействия в EN 1991 — это верхние граничные значения, основанные на оценках измерения воздействий нагрузок в соответствии с приложением А.

2 Параметры воздействия, как указано в EN 1991: Q_{\max} , n_{\max} , нормированный спектр, или $Q_{E, n_{\max}}$ на базе n_{\max} , или $Q_{E,2}$ на базе $n = 2 \cdot 10^6$ циклов.

Динамические эффекты включены в данные параметры, если не указано обратное.

1.3.2.13 эквивалентное усталостное нагружение постоянной амплитуды (equivalent constant amplitude fatigue loading): Упрощенное нагружение постоянной амплитуды, вызывающее такой же эффект усталостного повреждения, что и серия действительных нагружений переменной амплитуды.

1.3.3 Сопротивление усталости

1.3.3.1 кривая сопротивления усталости (fatigue strength curve): Зависимость между размахом напряжений цикла и числом циклов нагружения до усталостного разрушения, используемая для оценки усталости конкретной категории элементов конструкций.

Примечание — Сопротивление усталости, рассматриваемое в данной части, является нижним граничным значением предела выносливости, основанным на результатах усталостных испытаний крупноразмерных образцов в соответствии с EN 1990, приложение D.

1.3.3.2 категория элементов (detail category): Численное значение, присвоенное конкретному элементу при заданном направлении колебания напряжения для определения кривой сопротивления усталости (число показывает справочное значение предела выносливости $\Delta\sigma_c$, Н/мм²).

1.3.3.3 предел выносливости постоянной амплитуды (constant amplitude fatigue limit): Предельное значение размаха нормальных или касательных напряжений цикла, ниже которого не происходит усталостное повреждение при испытаниях с постоянной амплитудой нагружения. При условиях с переменной амплитудой все размахи напряжений цикла должны быть ниже этого предела для того, чтобы не произошло усталостное повреждение.

1.3.3.4 предел повреждаемости (cut-off limit): Предел, ниже которого размах напряжений цикла расчетного спектра не приводит к накоплению повреждения.

1.3.3.5 долговечность (endurance): История нагружения с постоянной амплитудой, выраженная в циклах.

1.3.3.6 допускаемое сопротивление усталости (reference fatigue strength): Размах напряжений цикла постоянной амплитуды $\Delta\sigma_c$ для конкретной группы элементов при долговечности $N = 2 \cdot 10^6$ циклов.

1.4 Условные обозначения

$\Delta\sigma$ — размах напряжений цикла (нормальное напряжение);

$\Delta\tau$ — размах напряжений цикла (касательное напряжение);

$\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$ — эквивалентный размах напряжений цикла постоянной амплитуды на базе n_{\max} ;

$\Delta\sigma_{E,2}, \Delta\tau_{E,2}$ — эквивалентный размах напряжений цикла постоянной амплитуды на базе 2 млн. циклов;

$\Delta\sigma_c, \Delta\tau_c$ — допускаемое значение предела выносливости при $N_c = 2$ млн. циклов;

$\Delta\sigma_D, \Delta\tau_D$ — предел выносливости для размахов напряжений цикла постоянной амплитуды при числе циклов N_D ;

$\Delta\sigma_L, \Delta\tau_L$ — предел повреждаемости для размаха напряжений цикла при числе циклов N_L ;

$\Delta\sigma_{eq}$ — эквивалентный размах напряжений цикла для соединений ферм и ортотропных плит;

| | |
|-------------------------|---|
| $\Delta\sigma_{C, red}$ | — уменьшенное допускаемое значение сопротивления усталости; |
| γ_{FF} | — частный коэффициент безопасности для эквивалентных размахов напряжений циклов постоянной амплитуды $\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$; |
| γ_{MF} | — частный коэффициент безопасности для предела выносливости $\Delta\sigma_C, \Delta\tau_C$; |
| m | — наклон кривой сопротивления усталости; |
| λ_i | — эквивалентные коэффициенты повреждения; |
| ψ_I | — коэффициент влияния частоты переменной нагрузки; |
| Q_k | — характеристическое значение одного переменного воздействия; |
| k_s | — коэффициент влияния размеров на предел выносливости; |
| k_l | — коэффициент увеличения номинальных размахов напряжений цикла для учета изгибающих моментов в фермах; |
| k_f | — коэффициент концентрации напряжения; |
| N_R | — расчетная долговечность, выраженная числом циклов при постоянном размахе напряжений цикла. |

2 Основные требования и методы

(1) Элементы конструкций должны быть запроектированы с расчетом на такое сопротивление усталости, чтобы их эксплуатация была надежной с требуемой вероятностью в течение всей проектной долговечности.

Примечание — Предполагается, что сооружения, запроектированные с учетом усталостных воздействий по EN 1991 и расчетов на усталостную прочность в соответствии с настоящей частью, удовлетворяют этому требованию.

(2) Приложение А может быть применено для определения конкретной модели нагружения, если:
— модель усталостного нагружения отсутствует в EN 1991;
— требуется более реальная модель усталостного нагружения.

Примечание — Требования для определения конкретных моделей усталостного нагружения могут быть указаны в национальном приложении.

(3) Испытания на усталость могут проводиться:

— для определения сопротивления усталости элементов, не включенных в данную часть;
— для определения усталостной долговечности образцов с соответствующей или эквивалентной по повреждению усталостной нагрузкой.

(4) При проведении и оценке усталостных испытаний должен быть принят во внимание EN 1990 (см. также 7.1).

Примечание — Требования для определения сопротивления усталости с помощью испытаний могут быть указаны в национальном приложении.

(5) Методы для оценки сопротивления усталости, приведенные в данной части, основаны на проверке конструкции заданным требованиям по выносливости на усталостные воздействия; такая проверка возможна только при условии, что усталостные воздействия определяются параметрами сопротивлений усталости, содержащимися в данном стандарте.

(6) Усталостные воздействия определяются в соответствии с требованиями оценки сопротивления усталости. Они отличаются от воздействий для контроля предельного состояния по потере несущей способности и предельного состояния по пригодности к эксплуатации.

Примечание — Любые усталостные трещины, которые развиваются за время ожидаемого срока эксплуатационной службы, не обязательно означают наступление конца срока эксплуатационной службы. Трещины должны ремонтироваться с обязательным контролем качества исполнения для избежания более серьезных случаев повреждения.

3 Методы оценки

(1) Оценка сопротивления усталости должна производиться с применением:

— метода работоспособности с повреждениями;
— метода безопасного ресурса.

(2) Метод работоспособности с повреждениями должен гарантировать достоверность того, что конструкция будет удовлетворительно работать в течение ее проектной долговечности, при условии, что запланированные осмотр и режим обслуживания для обнаружения и исправления усталостных повреждений выполняются в течение срока проектной долговечности конструкции.

Примечания

1 Метод работоспособности с повреждениями может применяться, когда в момент усталостного разрушения возможно перераспределение усилий между составляющими элементами конструкции.

2 В национальном приложении могут содержаться предусмотренные программы контроля.

3 Конструкции, оцениваемые в данной части, считаются работоспособными с повреждениями, если материал конструкций выбран согласно EN 1993-1-10 и проводится их регулярное обслуживание.

(3) Метод безопасного ресурса должен обеспечивать достоверный уровень того, что конструкция будет удовлетворительно работать за время ее проектной долговечности без необходимости регулярных обследований в процессе эксплуатации на предмет усталостного повреждения. Метод безопасного ресурса должен применяться в случаях, когда образование локальной трещины в одной детали быстро приводит к разрушению элемента или всей конструкции.

(4) Для оценки усталости согласно настоящей части, требуемая надежность может быть достигнута корректировкой частного коэффициента безопасности для сопротивления усталости γ_{Mf} , учитывающего последствия разрушения и принятые требования проекта.

(5) Сопротивление усталости определяется рассмотрением элемента конструкции в целом, с учетом его металлургических факторов и геометрических параметров сечения. В подверженных усталости элементах, представленных в настоящей части, также указывается вероятное место зарождения трещины.

(6) Методы оценки сопротивления усталости, приведенные в настоящем техническом кодексе, определяются параметрами кривых сопротивления усталости для:

- стандартных элементов — соответствующими номинальными напряжениями;
- рекомендуемых сварных соединений — соответствующими локальными напряжениями.

(7) Требуемая надежность может быть получена следующими способами:

а) методом работоспособности с повреждениями:

- выбором элементов, материалов и уровней напряжения, так чтобы при образовании трещины в результате были низкая скорость распространения трещины и большая критическая длина трещины;
- назначением нескольких программ нагружения;
- установкой деталей, останавливающих трещины;
- установкой деталей, легко контролируемых в процессе регулярных осмотров;

б) методом безопасного ресурса:

- выбором элементов и уровней напряжения, обеспечивающим усталостную долговечность, достаточную, чтобы получить значения β , равные таковым для проверок предельного состояния в конце проектного времени эксплуатации.

Примечание — Национальное приложение может принимать другие методы оценки определения предельных состояний, а также назначать численные значения для γ_{Mf} . Рекомендованные значения γ_{Mf} приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 — Рекомендованные значения частных коэффициентов безопасности для сопротивления усталости

| Метод оценки | Последствия разрушения | |
|------------------------------------|------------------------|---------------------|
| | Малые последствия | Большие последствия |
| Работоспособности при повреждениях | 1,00 | 1,15 |
| Безопасного ресурса | 1,15 | 1,35 |

4 Напряжения от усталостных воздействий

(1) Определение номинальных напряжений должно учитывать все присутствующие воздействия, включая влияние искривления, и должно проводиться на основе упругой работы элементов и соединений.

(2) Для решетчатых ферм, изготовленных из полых профилей, расчет может основываться на упрощенной модели фермы с шарнирными узлами. При определении напряжений при узловой нагрузке на ферму, влияние моментов в связи с жестким соединением стержней в узлах учитывается при помощи коэффициентов k_1 (см. таблицу 4.1 — для профилей круглого сечения, таблицу 4.2 — для профилей прямоугольного сечения).

Таблица 4.1 — Коэффициенты k_1 для полых профилей круглого сечения при нагрузке в плоскости фермы

| Тип соединения | | Пояса | Стойки | Раскосы |
|----------------------------|--------------|-------|--------|---------|
| Соединения с зазором | К-тип | 1,5 | 1,0 | 1,3 |
| | N-тип/КТ-тип | 1,5 | 1,8 | 1,4 |
| Перекрывающиеся соединения | К-тип | 1,5 | 1,0 | 1,2 |
| | N-тип/КТ-тип | 1,5 | 1,65 | 1,25 |

Таблица 4.2 — Коэффициенты k_1 для полых профилей прямоугольного сечения при нагрузке в плоскости фермы

| Тип соединения | | Пояса | Стойки | Раскосы |
|----------------------------|--------------|-------|--------|---------|
| Соединения с зазором | К-тип | 1,5 | 1,0 | 1,5 |
| | N-тип/КТ-тип | 1,5 | 2,2 | 1,6 |
| Перекрывающиеся соединения | К-тип | 1,5 | 1,0 | 1,3 |
| | N-тип/КТ-тип | 1,5 | 2,0 | 1,4 |

Примечание — Для определения типов соединений см. EN 1993-1-8.

5 Определение напряжений

(1) Напряжения должны вычисляться для первой группы предельных состояний по пригодности к эксплуатации.

(2) Поперечные сечения класса 4 оцениваются на усталостные нагрузки в соответствии с EN 1993-1-5.

Примечания

1 См. руководство в EN 1993-2 – EN 1993-6.

2 Национальное приложение может давать ограничения сечениям класса 4.

(3) Номинальные напряжения должны вычисляться в месте предполагаемого усталостного повреждения. Эффекты, приводящие к концентрациям напряжений в элементах, отличные от включенных в таблицы 8.1 – 8.10, должны вычисляться с использованием коэффициента концентрации напряжения (SCF) в соответствии с 6.3 для получения измененного номинального напряжения.

(4) При использовании методов локального напряжения в элементах, относящихся к таблице В.1, напряжения должны вычисляться, как показано в 6.5.

(5) Напряжения, действующие в основном материале элементов, это:

— номинальные нормальные напряжения σ ;

— номинальные касательные напряжения τ .

Примечание — Для учета суммарных номинальных напряжений см. 8(2).

(6) Напряжения, действующие в сварном шве (см. рисунок 5.1), это:

— нормальные напряжения σ_{wf} поперек оси сварного шва:

$$\sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp f}^2 + \tau_{\perp f}^2};$$

— касательные напряжения τ_{wf} вдоль оси сварного шва:

$$\tau_{wf} = \tau_{\parallel f},$$

для которых должны производиться две отдельные проверки.

Примечание — Описанные выше расчеты отличаются от расчетов, которые применяются для предельного состояния углового сварного шва по потере несущей способности, приведенного в EN 1993-1-8.

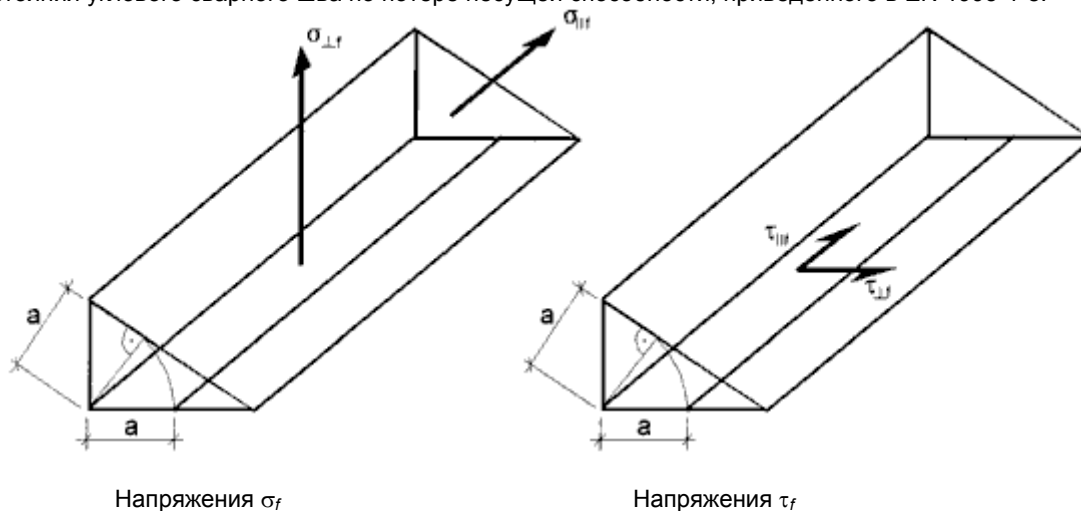


Рисунок 5.1 — Напряжения, действующие в угловых сварных швах

6 Определение размахов напряжений цикла

6.1 Общие положения

(1) Оценка усталости должна выполняться с использованием:

- номинальных размахов напряжений циклов для деталей, приведенных в таблицах 8.1 – 8.10;
- измененных номинальных размахов напряжений циклов для случая резкого изменения сечения вблизи места повреждения, которые не включены в таблицы 8.1 – 8.10;
- локальных размахов напряжений циклов, когда значительные градиенты напряжения возникают в околошовных зонах сварного шва в соединениях, приведенных в таблице В.1.

Примечание — Национальное приложение может предоставлять информацию по поводу использования номинальных размахов напряжений циклов, измененных номинальных размахов напряжений циклов или локальных размахов напряжений циклов. Категории элементов для локальных размахов напряжений циклов см. в приложении В.

(2) Расчетное значение размаха напряжений цикла в усталостных расчетах принимается равным $\gamma_{FF} \Delta \sigma_{E,2}$ на базе $N_C = 2 \cdot 10^6$ циклов.

6.2 Расчетное значение номинального размаха напряжений цикла

(1) Для расчета усталости должно использоваться расчетное значение размаха напряжений цикла $\gamma_{FF} \Delta \sigma_{E,2}$ и $\gamma_{FF} \Delta \tau_{E,2}$:

$$\begin{aligned} \gamma_{FF} \Delta \sigma_{E,2} &= \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_i \cdot \dots \cdot \lambda_n \cdot \Delta \sigma \cdot (\gamma_{FF} Q_k), \\ \gamma_{FF} \Delta \tau_{E,2} &= \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_i \cdot \dots \cdot \lambda_n \cdot \Delta \tau \cdot (\gamma_{FF} Q_k), \end{aligned} \tag{6.1}$$

где $\Delta \sigma \cdot (\gamma_{FF} Q_k)$, $\Delta \tau \cdot (\gamma_{FF} Q_k)$ — размах напряжений цикла, вызванный усталостными нагрузками, указанными в EN 1991;

λ_i — эквивалентные коэффициенты повреждения, зависящие от спектров, как указано в соответствующем разделе EN 1993.

(2) При отсутствии соответствующих значений λ_i проектное значение номинального размаха напряжения может быть определено в соответствии с требованиями, приведенными в приложении А.

Примечание — Национальное приложение может предоставлять информацию, дополняющую приложение А.

6.3 Расчетное значение измененного номинального размаха напряжений цикла

(1) Расчетное значение измененного номинального размаха напряжений цикла $\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2}$ и $\gamma_{FF} \cdot \Delta\tau_{E,2}$ должно определяться следующим образом:

$$\begin{aligned}\gamma_{FF}\Delta\sigma_{E,2} &= k_f \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_i \cdot \dots \cdot \lambda_n \cdot \Delta\sigma \cdot (\gamma_{FF}Q_k), \\ \gamma_{FF}\Delta\tau_{E,2} &= k_f \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_i \cdot \dots \cdot \lambda_n \cdot \Delta\tau \cdot (\gamma_{FF}Q_k),\end{aligned}\quad (6.2)$$

где k_f — коэффициент концентрации напряжения, необходимый для учета увеличения локальных напряжений, обусловленного геометрией детали, не включенной в справочную кривую $\Delta\sigma_R - N$.

Примечание — Значения k_f могут быть определены по справочникам или соответствующими расчетами методом конечных элементов.

6.4 Расчетные значения размаха напряжений цикла для сварных соединений полых профилей

(1) Если не выполнялись более точные расчеты, расчетное значение измененного номинального напряжения должно определяться с использованием упрощенной модели по 4(2) следующим образом:

$$\gamma_{FF}\Delta\sigma_{E,2} = k_1 \cdot (\gamma_{FF}\Delta\sigma_{E,2}^*), \quad (6.3)$$

где $\gamma_{FF}\Delta\sigma_{E,2}^*$ — расчетное значение размаха напряжений цикла, вычисленное для упрощенной модели фермы с шарнирными узлами;

k_1 — повышающий коэффициент, определяется по таблицам 4.1 и 4.2.

6.5 Расчетное значение размаха напряжений цикла для максимального локального напряжения

(1) Расчетное значение локального размаха напряжений цикла $\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2}$ должно определяться следующим образом:

$$\gamma_{FF}\Delta\sigma_{E,2} = k_f \cdot (\gamma_{FF}\Delta\sigma_{E,2}^*), \quad (6.4)$$

где k_f — коэффициент концентрации напряжения.

7 Предел выносливости

7.1 Общие положения

(1) Предел выносливости для номинальных размахов напряжений цикла представлен сериями кривых $(\log\Delta\sigma_R) - (\log N)$ и кривых $(\log\Delta\tau_R) - (\log N)$ (S – N — кривые), которые соответствуют типовым категориям элементов. Каждая категория элементов обозначается числом, равным значению предела выносливости $\Delta\sigma_C$ и $\Delta\tau_C$, Н/мм², определенного на базе 2 млн. циклов нагружения.

(2) Для номинальных напряжений постоянной амплитуды пределы ограниченной выносливости могут быть получены следующим образом:

— $\Delta\sigma_R^m \cdot N_R = \Delta\sigma_C^m \cdot 2 \cdot 10^6$, где $m = 3$ для $N \leq 5 \cdot 10^6$, рисунок 7.1;

— $\Delta\tau_R^m \cdot N_R = \Delta\tau_C^m \cdot 2 \cdot 10^8$, где $m = 5$ для $N \leq 10^8$, рисунок 7.2;

— $\Delta\sigma_D = (2/5)^{1/3} \Delta\sigma_C = 0,737 \Delta\sigma_C$ — предел выносливости постоянной амплитуды, см. рисунок 7.1;

— $\Delta\tau_L = (2/100)^{1/5} \Delta\tau_C = 0,457 \Delta\tau_C$ — предел повреждаемости, см. рисунок 7.2.

(3) Для спектров номинальных напряжений с размахами напряжений цикла выше и ниже предела выносливости постоянной амплитуды $\Delta\sigma_D$ сопротивление усталости должно быть определено

по полным кривым сопротивления усталости следующим образом:

— $\Delta\sigma_R^m \cdot N_R = \Delta\sigma_C^m \cdot 2 \cdot 10^6$, где $m = 3$ для $N \leq 5 \cdot 10^6$;

— $\Delta\sigma_R^m \cdot N_R = \Delta\sigma_D^m \cdot 5 \cdot 10^6$, где $m = 5$ для $5 \cdot 10^6 \leq N \leq 10 \cdot 10^8$;

— $\Delta\sigma_L = (5/100)^{1/5} \Delta\sigma_D = 0,549\Delta\sigma_D$ — предел повреждаемости, см. рисунок 7.1.

Примечания

1 При назначении соответствующей категории для конкретного элемента конструкции значение размаха напряжений $\Delta\sigma_C$ на базе $N_C = 2$ млн. циклов нагружения определялось на основании результатов испытания с 95 % обеспеченностью неразрушения и 75 % уровнем доверительной вероятности для $\log N$, с учетом среднеквадратичного отклонения, размера образца и влияния остаточных напряжений. Число точек на графике (не меньшее 10) выбиралось из соображений статистического анализа, см. приложение D, EN 1990.

2 Национальное приложение может разрешать назначение категорий элементов по пределу выносливости для конкретного применения в случае, если оценка производится в соответствии с примечанием 1.

3 Данные испытаний для некоторых элементов точно не совпадают с кривыми сопротивления усталости на рисунке 7.1. Для гарантированного исключения некорректных значений такие элементы отмечены знаком «*» и размещаются на одну категорию элементов ниже, чем этого требует их предел выносливости на базе $2 \cdot 10^6$ циклов. Дополнительная проверка может повысить уровень классификации таких элементов на одну категорию в случае, если предел выносливости постоянной амплитуды $\Delta\sigma_D$ определен как предел выносливости на базе 10^7 циклов для $m = 3$ (рисунок 7.3).

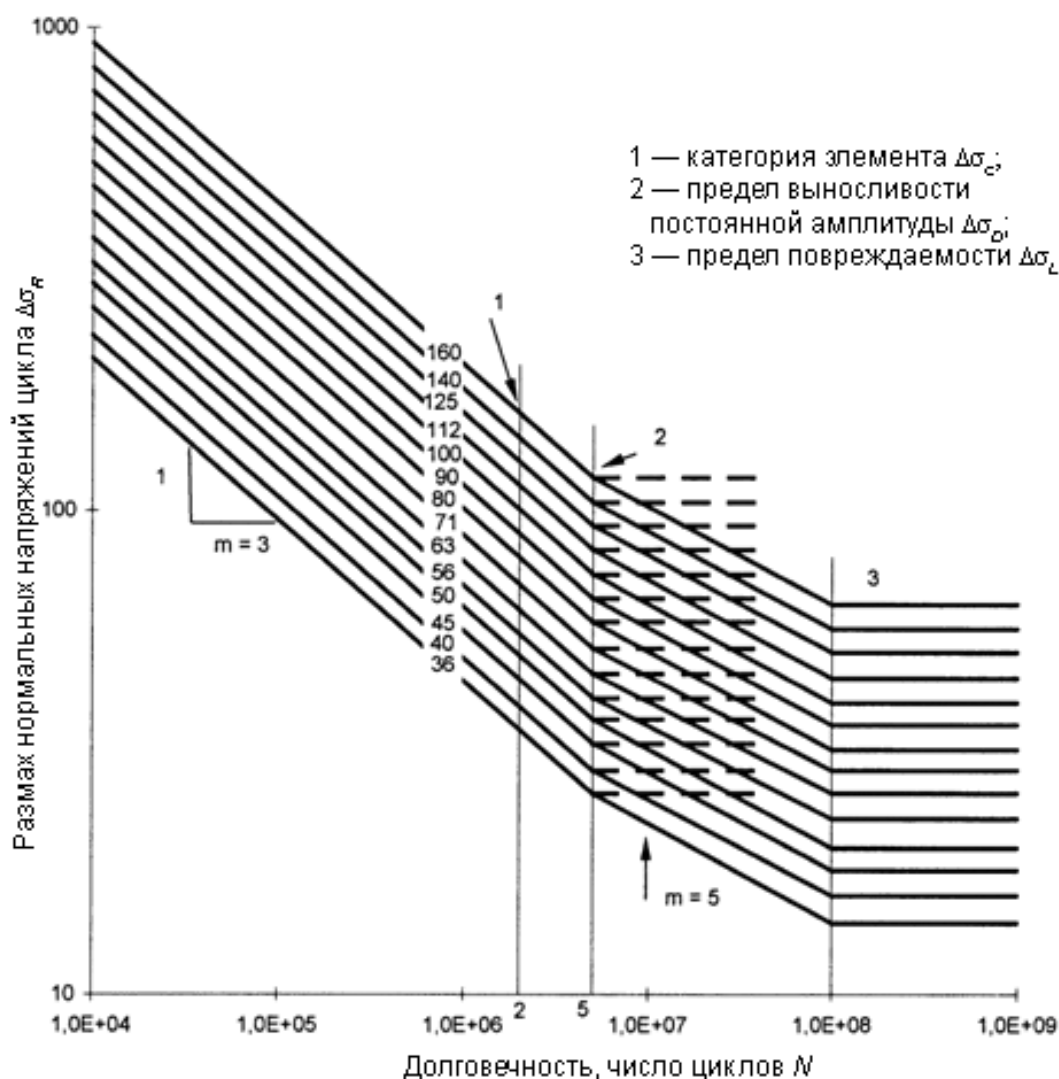


Рисунок 7.1 — Кривые сопротивления усталости для размаха нормальных напряжений цикла

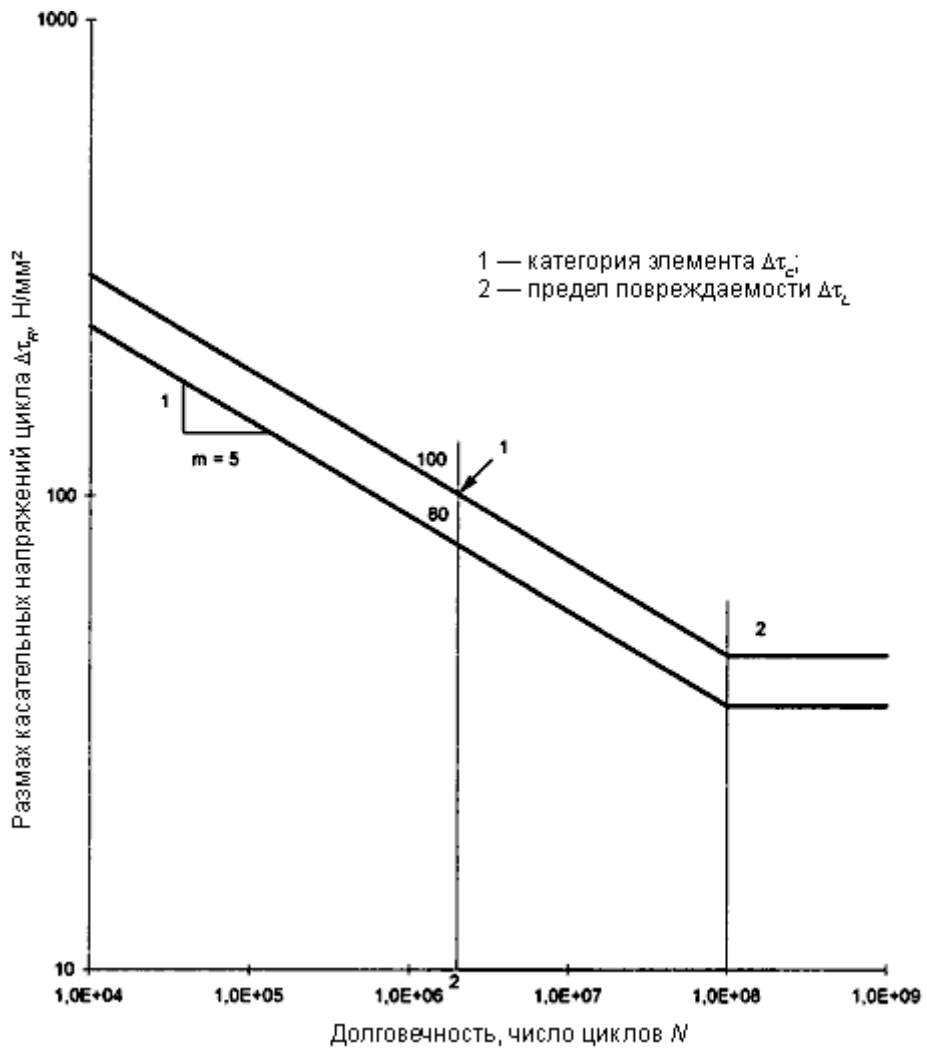


Рисунок 7.2 — Кривые сопротивления усталости для размаха касательных напряжений цикла

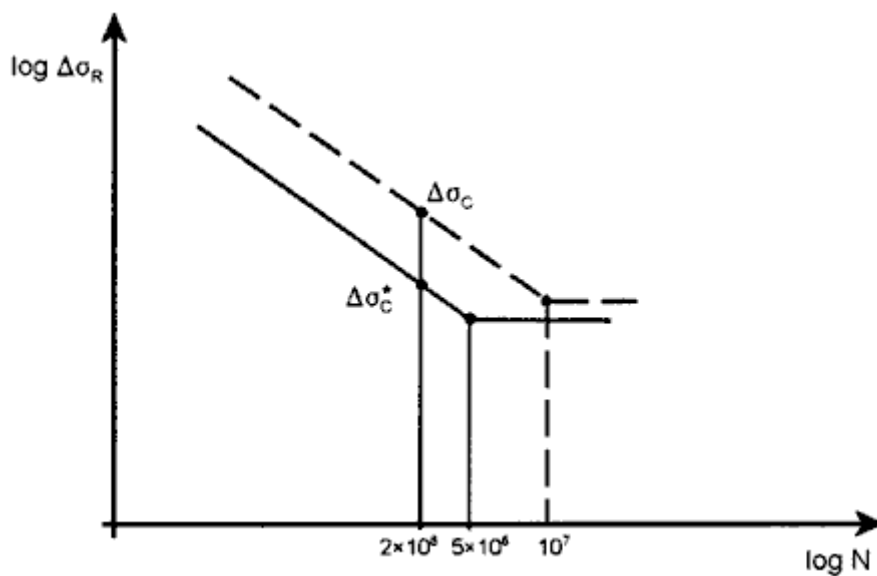


Рисунок 7.3 — Кривая сопротивления усталости для определения альтернативного предела выносливости $\Delta\sigma_c$ для деталей, классифицированных как $\Delta\sigma_c^*$

(4) Категории элементов по $\Delta\sigma_c$ и $\Delta\tau_c$ для номинальных напряжений представлены в следующих таблицах:

- таблица 8.1 — для листовых элементов и механических соединений узлов;
- таблица 8.2 — для сварных составных сечений;
- таблица 8.3 — для поперечных стыковых сварных швов;
- таблица 8.4 — для приваренных деталей и ребер;
- таблица 8.5 — для нагруженных сварных узлов;
- таблица 8.6 — для полых профилей;
- таблица 8.7 — для узловых соединений решетчатых ферм;
- таблица 8.8 — для ортотропных плит — закрытых стрингеров;
- таблица 8.9 — для ортотропных плит — открытых стрингеров;
- таблица 8.10 — для узлов соединения верхней полки со стенкой балки.

(5) Категории предела выносливости $\Delta\sigma_c$ для локальных размахов напряжений приведены в приложении В.

Примечание — Национальное приложение может назначать предел выносливости $\Delta\sigma_c$ и $\Delta\tau_c$ для элементов, не охваченных таблицами 8.1 – 8.10 и приложением В.

7.2 Изменение предела выносливости

7.2.1 Элементы без сварки или со сварными соединениями с полностью снятыми внутренними остаточными напряжениями

(1) В элементах без сварки или со сварными соединениями с полностью снятыми внутренними остаточными напряжениями влияние среднего напряжения цикла на предел выносливости может быть учтено назначением уменьшенного эквивалентного размаха напряжений цикла $\Delta\sigma_{E,2}$, если часть цикла или весь цикл является сжимающим.

(2) Эквивалентный размах напряжений цикла может быть определен суммой растянутой части и 60 % величины сжатой части размаха напряжений цикла, рисунок 7.4.

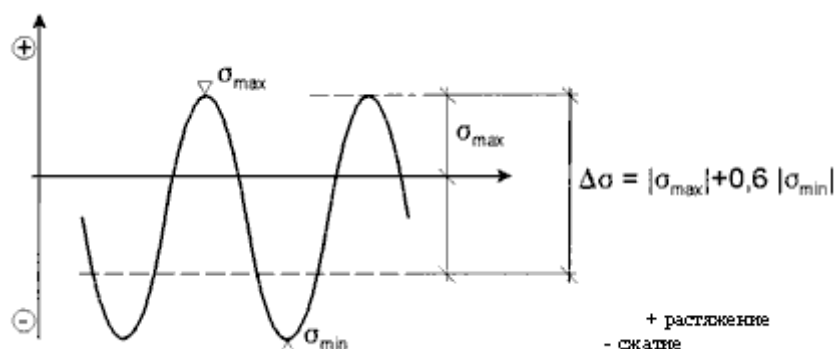


Рисунок 7.4 — Измененный размах напряжений цикла для элементов без сварки или со сварными соединениями с полностью снятыми внутренними остаточными напряжениями

7.2.2 Влияние размеров

(1) Влияние размеров поперечного сечения, связанное с толщиной или другими конструктивными особенностями детали, необходимо учитывать, как указано в таблицах 8.1 – 8.10. В этом случае предел выносливости определяется как

$$\Delta\sigma_{c,red} = k_s \cdot \Delta\sigma_c. \quad (7.1)$$

8 Расчет на выносливость

(1) Номинальные, измененные номинальные или локальные размахи напряжения цикла от многократно повторяющихся нагрузок $\psi_1 Q_k$ (см. EN 1990) не должны превышать:

- $\Delta\sigma \leq 1,5f_y$ — для размахов нормальных напряжений; (8.1)
- $\Delta\tau \leq 1,5f_y/3^{1/2}$ — для размахов касательных напряжений.

(2) Необходимо проверить, чтобы при усталостном нагружении:

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

и

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0.$$

(8.2)

Примечание — Таблицы 8.1 – 8.9 требуют, чтобы для некоторых элементов размахи напряжений циклов были определены в главных напряжениях.

(3) Если не указано обратное в категориях элементов в таблицах 8.8 и 8.9, в случае совместного действия напряжений циклов $\Delta \sigma_{E,2}$ и $\Delta \tau_{E,2}$ необходимо проверить, что:

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1,0. \quad (8.3)$$




(4) Когда нет данных для $\Delta \sigma_{E,2}$ и $\Delta \tau_{E,2}$, может использоваться форма проверки из приложения А.

Примечания

1 Приложение А предусматривает продольное направление размахов напряжений циклов. Данное представление может быть уточнено для размахов касательных напряжений циклов.



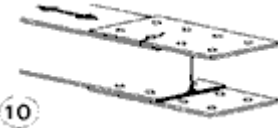


2 Национальное приложение может давать информацию об использовании приложения А.

Таблица 8.1 — Плоские элементы и механические соединения

| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|---------------------|--|--|--|
| 160 | <p><i>Примечание</i> — Предел выносливости, соответствующий 160 — максимальное значение.</p>  <p>Никакие другие элементы не могут достигнуть лучшей выносливости при любом числе циклов</p> | <p><u>Прокатные и прессованные изделия</u></p> <p>1) Пластины и листы 2) Прокатный профиль 3) Бесшовные полые профили прямоугольной или круглой формы</p> | <p><u>Элементы 1) – 3)</u> Острые края, поверхностные дефекты проката подлежат удалению шлифовкой и получению плавных переходов</p> |
| 140 |  | <p><u>Обрезная толстолистовая сталь и листы газоплазменной резки</u></p> <p>4) Машинная газоплазменная резка или обрезной материал с последующей доводкой 5) Края материала с газоплазменной резкой с неглубокими регулярными бороздами или материал ручной газоплазменной резки с последующей доводкой для удаления всех неровностей.</p> | <p>4) Все видимые следы неровностей краев должны удаляться. Поверхности реза должны фрезероваться или шлифоваться, все заусеницы должны удаляться. Любые машинные царапины, например от операций фрезерования, могут быть только параллельными направлению действия напряжения</p> |
| 125 |  | <p>Машинная газоплазменная резка с качеством резки по EN 1090</p> | <p><u>Элементы 4) и 5)</u> Острые углы должны устраняться шлифовкой (уклон $\leq 1/4$) или оцениваться с учетом соответствующих коэффициентов концентрации напряжения Не допустим ремонт повторной сваркой</p> |
| 100 $m = 5$ |  | <p>6) и 7) Прокатные и прессованные изделия как в элементах 1), 2), 3)</p> | <p><u>Элементы 6) и 7)</u> $\Delta\tau$ вычисляется по формуле</p> $\tau = \frac{VS(t)}{lt}$ |

Для элементов 1 – 5 из нержавеющей стали — необходимо использовать пониженную на одну ступень категорию.

Продолжение таблицы 8.1

| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования | |
|---------------------|---|--|--|--|
| 112 |  | 8) Симметричное соединение с двойными накладками, с высокопрочными болтами с предварительным натяжением | 8) $\Delta\sigma$ вычисляется по сечению брутто | Для болтовых соединений (элементы 8) – 13)) в целом Расстояние от края элемента до центра болтового отверстия $e_1 \geq 1,5d$ |
| | | 8) Симметричное соединение с двойными накладками, инъекционными ⁵⁾ болтами с предварительным натяжением | 8) $\Delta\sigma$ вычисляется по сечению брутто | |
| 90 |  | 9) Соединение с двойными накладками, болты повышенной точности | 9) $\Delta\sigma$ вычисляется по сечению нетто | Расстояние до края $e_2 > 1,5d$ |
| | | 9) Соединение с двойными накладками, инъекционными болтами без предварительного натяжения | 9) $\Delta\sigma$ вычисляется по сечению нетто | |
| |  | 10) Соединение с односторонними накладками и высокопрочными болтами с предварительным натяжением | 10) $\Delta\sigma$ вычисляется по сечению брутто | Шаг болтов $p_1 > 2,5d$ |
| | | 10) Соединение с односторонними накладками и инъекционными болтами с предварительным натяжением | 10) $\Delta\sigma$ вычисляется по сечению брутто | |
| |  | 11) Элементы конструкций с отверстиями, нагруженные изгибающим моментом и продольным усилием | 11) $\Delta\sigma$ вычисляется по сечению нетто | Шаг болтов $p_2 > 2,5d$ |
| 80 |  | 12) Соединение с односторонними накладками, с болтами повышенной точности 12) Соединение с односторонними накладками и инъекционными болтами без предварительного натяжения | 12) $\Delta\sigma$ вычисляется по сечению нетто | Обозначение по EN 1993-1-8, рисунок 3.1 |

⁵⁾ Инъекционные болты — болты, при использовании которых зазор между болтом и стенкой отверстия заполняется композитной смолой через канал в головке болта.

Окончание таблицы 8.1

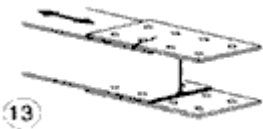
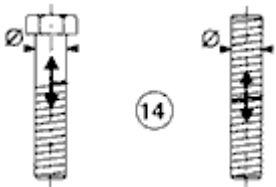
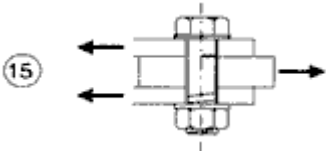





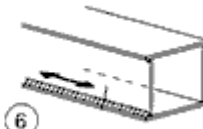

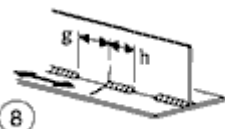
| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования | |
|---------------------|--|---|---|--|
| 50 |  | <p>13) Соединение с односторонними накладками или симметричное соединение с двойными накладками, болтами нормальной точности без предварительного натяжения. Без изменения направления вектора усилия</p> | <p>13) $\Delta\sigma$ вычисляется по сечению нетто</p> | |
| 50 |  <p>Влияние размеров для $l > 30$ мм: $k_s = (30/l)^{0,25}$</p> | <p>14) Болты и стержни с нарезанной или накатанной резьбой в напряженном состоянии. Для больших диаметров (анкерные болты) следует учитывать влияние размера при помощи k_s</p> | <p>14) $\Delta\sigma$ рассчитывается по площади нетто и растягивающему усилию на болт. Должны учитываться изгиб и растяжение от рычажного эффекта и напряжения изгиба от других воздействий. Для болтов с предварительным натяжением может приниматься во внимание уменьшение размаха напряжений цикла</p> | |
| 100 $m = 5$ |  | <p><u>Односрезные или двусрезные болты</u> (резьба не в плоскости среза) 15): болты повышенной точности болты нормальной точности без изменения направления вектора усилия (болты класса прочности 5.6, 8.8 или 10.9)</p> | <p>15) $\Delta\tau$ вычисляется в площади брутто болта</p> | |

Таблица 8.2 — Сварные составные сечения

| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|---------------------|---|--|---|
| 125 |   | <u>Непрерывные продольные сварные швы</u> 1) Торцевые швы, выполненные автоматической сваркой с обеих сторон 2) Автоматические угловые сварные швы. Торцы нахлесточных пластин подлежат проверке с использованием элемента 6) или 7) из таблицы 8.5 | <u>Элементы 1) и 2)</u> Не допускаются дефекты в начале и конце шва, за исключением случаев, когда специалистом выполняются ремонт и контроль для проверки правильности ремонтных работ |
| 112 |   | 3) Угловой или торцевой шов, выполненный автоматической сваркой с обеих сторон, но содержащий дефекты в начале и конце шва 4) Стыковой шов, выполненный автоматической сваркой только с одной стороны, с непрерывной подкладкой, но без дефектов в начале и конце шва | 4) Когда элемент содержит дефекты в начале и конце шва, должна использоваться категория 100 |
| 100 |   | 5) Угловой или торцевой шов, выполненный ручной сваркой 6) Односторонний торцевой шов, выполненный ручной или автоматической сваркой, в частности для балок коробчатого сечения | 5), 6) Необходима очень хорошая подгонка стыка между полкой и стенкой балки. Край стенки должен быть подготовлен таким образом, чтобы притупленная кромка обеспечивала постоянный провар корня шва без разрывов |
| 100 |  | 7) Отремонтированные угловые швы, выполненные ручной или автоматической сваркой, или торцевые сварные швы для категорий 1) – 6) | 7) Исправления шлифованием, выполненные специалистом для удаления всех видимых дефектов, и соответствующий контроль могут восстановить первоначальную категорию |
| 80 |  $g/h \leq 2,5$ | 8) Сварное соединение с прерывистым продольным угловым швом | $\Delta\sigma$ — нормальное напряжение в полке |

Окончание таблицы 8.2




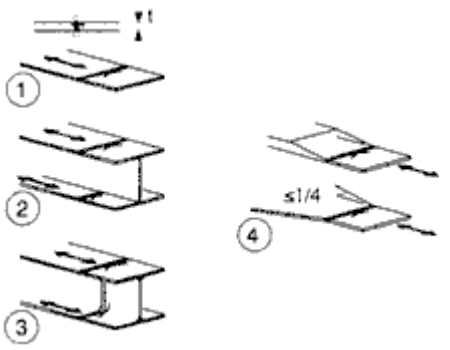
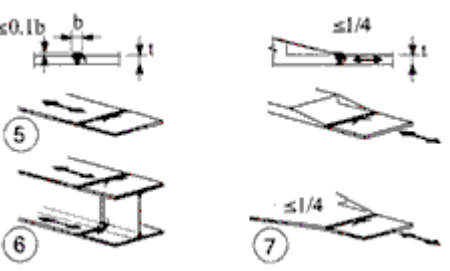

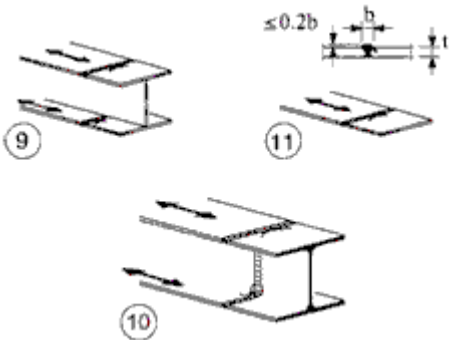
| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|--|--|---|--|
| 71 |  | 9) Сварное соединение с торцевыми или угловыми швами и пересекающими швы отверстиями высотой не более 60 мм. Для пересекающих швов отверстий высотой более 60 мм см. элемент 1) в таблице 8.4 | 9) $\Delta\sigma$ — нормальное напряжение в полке |
| 125 |  | 10) Продольный стыковой сварной шов со снятыми усилениями с обеих сторон параллельно направлению действия нагрузки, 100 % неразрушающий контроль | |
| 112 | | 10) Без шлифовки с начальной и конечной сторон соединения | |
| 90 | | 10) Незаплавленные углубления в начале и конце сварного шва | |
| 140 |  | 11) Автоматическая продольная шовная контактная сварка без дефектов в начале и конце шва в полых профилях | 11) Отсутствие дефектов в области погрешностей, допускаемых EN 1090. Толщина стенки $t \leq 12,5$ мм |
| 125 | | 11) Автоматическая продольная шовная контактная сварка без дефектов в начале и конце шва в полых профилях | 11) Толщина стенки $t > 12,5$ мм |
| 90 | | 11) С дефектами в начале/конце шва | |
| Для элементов 1 – 11 с полностью механизированной сваркой применяются категории для автоматической сварки. | | | |


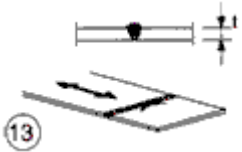
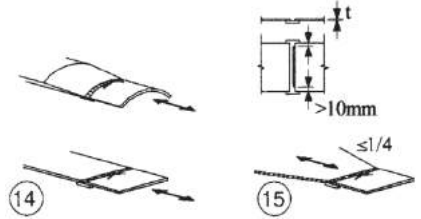
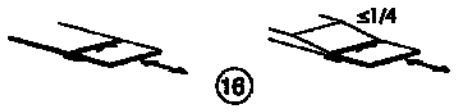
Таблица 8.3 — Поперечные стыковые сварные швы

| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|---------------------|---|---|---|
| 112 |  <p>Влияние размера для $t > 25$ мм: $k_s = (25/t)^{0,2}$</p> | <p><u>Без подкладки</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Поперечное соединение в пластинах и плитах 2) Соединения в полках и стенках балок, выполненные перед сборкой 3) Стыковые сварные швы поперечных сечений прокатных балок без пересекающих отверстий 4) Поперечное соединение в пластинах и плитах, сужающихся по ширине или толщине, с уклоном $\leq 1/4$ | <p>Все сварные швы должны быть снятыми выпуклостями параллельно направлению, указанному стрелкой</p> <p>Участки натекания металла шва на поверхность основного металла должны быть сфрезерованы до поверхности в направлении действия напряжения</p> <p>Сварка с обеих сторон; проверено неразрушающим контролем</p> <p><u>Элемент 3)</u></p> <p>Только для соединений прокатного профиля, разрезанных и повторно сваренных</p> |
| 90 |  <p>Влияние размера для $t > 25$ мм: $k_s = (25/t)^{0,2}$</p> | <ol style="list-style-type: none"> 5) Поперечное соединение в пластинах и плитах 6) Стыковые сварные швы поперечных сечений прокатных балок без пересекающих отверстий 7) Поперечное соединение в пластинах и плитах, сужающихся по ширине или толщине, с уклоном $\leq 1/4$ | <p>Высота выпуклости сварного шва не должна превышать 10 % ширины шва, с плавным переходом к поверхности пластины</p> <p>Участки натекания металла шва на поверхность основного металла должны быть сфрезерованы до поверхности в направлении действия напряжения</p> <p>Сварка с обеих сторон проверяется неразрушающим контролем</p> <p><u>Элементы 5) и 7)</u></p> <p>Сварка выполняется в нижнем положении</p> |

Продолжение таблицы 8.3

| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|---------------------|---|--|--|
| 90 |  <p>Влияние размера для $t > 25$ мм: $k_s = (25/t)^{0,2}$</p> | 8) Как элемент 3), но с пересекающимися отверстиями | <p>Все сварные швы должны быть снятыми выпуклостями параллельно направлению, указанному стрелкой</p> <p>Участки натекания металла шва на поверхность основного металла должны быть сфрезерованы до поверхности в направлении действия напряжения</p> <p>Сварка — с обеих сторон; проверяется неразрушающим контролем</p> <p>Прокатные профили — тех же размеров без учета допусков</p> |
| 80 |  <p>Влияние размера для $t > 25$ мм: $k_s = (25/t)^{0,2}$</p> | <p>9) Поперечное соединение балки без пересекающихся отверстий</p> <p>10) Стыковые сварные швы поперечных сечений прокатных балок с прерывающимися отверстиями</p> <p>11) Поперечное соединение в пластинах, плитах, прокатном профиле или балке</p> | <p>Высота выпуклости сварного шва не должна превышать 20 % ширины шва, с плавным переходом к поверхности пластины</p> <p>Сварной шов не фрезеруется до поверхности пластин</p> <p>Участки натекания металла шва на поверхность основного металла должны быть сфрезерованы до поверхности в направлении действия напряжения</p> <p>Сварка — с обеих сторон; проверяется неразрушающим контролем</p> <p><u>Элемент 10)</u></p> <p>Высота выпуклости сварного шва не должна превышать 10 % ширины шва, с плавным переходом к поверхности пластины</p> |

Продолжение таблицы 8.3

| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|---------------------|---|---|---|
| 63 |  <p>12</p> | <p>12) Стыковые сварные швы поперечных сечений прокатных балок без пересекающих отверстий</p> | <p>Участки натекания металла шва на поверхность основного металла должны быть сфрезерованы до поверхности в направлении действия напряжения Сварка с обеих сторон</p> |
| 36 |  <p>13</p> | <p>13) <u>Односторонние стыковые сварные швы</u></p> | <p>13) Без подкладки</p> |
| 71 | <p>Эффект размера для $t > 25$ мм: $k_s = (25/t)^{0.2}$</p> | <p>13) Односторонние стыковые сварные швы с полным проваром, проверенные средствами неразрушающего контроля</p> | |
| 71 |  <p>14</p> <p>15</p> <p>Эффект размера для $t > 25$ мм: $k_s = (25/t)^{0.2}$</p> | <p><u>С подкладкой</u> 14) Поперечное соединение 15) Поперечное стыковое сварное соединение, сужающееся по ширине или толщине, с уклоном $\leq 1/4$. Можно применить для изогнутых пластин</p> | <p><u>Элементы 14) и 15)</u> Угловые швы, прикрепляющие подкладки, не доводить >10 мм до краев нагруженной пластины. Прихваточные швы внутри кромок стыковых швов</p> |
| 50 |  <p>16</p> <p>Эффект размера для $t > 25$ мм: $k_s = (25/t)^{0.2}$</p> | <p>16) Поперечное стыковое сварное соединение на съемной подкладке, сужающееся по ширине или толщине, с уклоном $\leq 1/4$. Можно применить для изогнутых пластин</p> | <p>16) Когда угловой шов для крепления подкладки заканчивается за <10 мм от края пластины или если не может быть гарантирована хорошая подгонка</p> |

Окончание таблицы 8.3

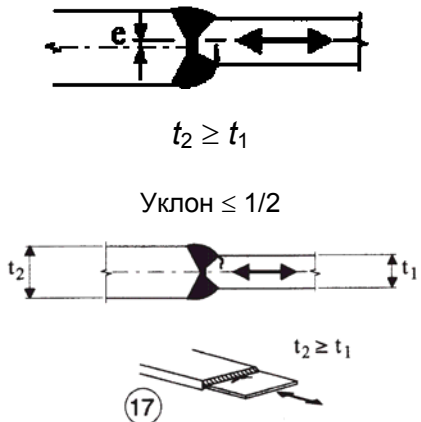
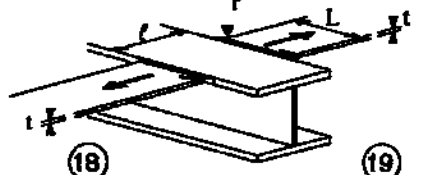
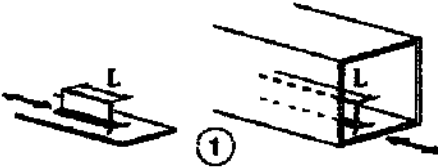
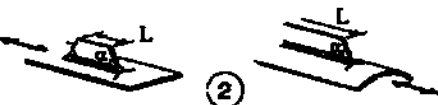
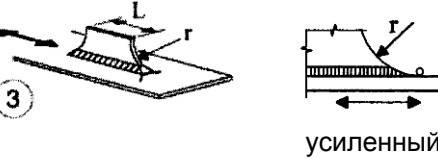
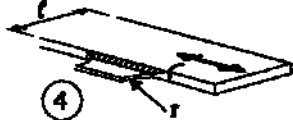

| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|----------------------------|--|---|--|
| 71 | <p>Эффект размера для $t > 25$ мм и/или для учета эксцентрисичности:</p> $k_r = \left(\frac{25}{t_1} \right)^{0,2} / \left(1 + \frac{6e}{t_1} \frac{t_1^{1,5}}{t_1^{1,5} + t_2^{1,5}} \right)$  <p>$t_2 \geq t_1$</p> <p>Уклон $\leq 1/2$</p> | 17) Поперечное соединение, различные толщины без перехода по толщине листов, выравнивание по осевой линии | |
| Как элемент 1) таблицы 8.5 |  | 18) Поперечное стыковое сварное соединение на пересекающихся полках | <p><u>Элементы 18) и 19)</u> Предел выносливости для детали, не пересекающейся сварным швом, должен быть проверен по таблице 8.4, элемент 4) или элемент 5)</p> |
| Как элемент 4) таблицы 8.4 | | 19) С радиусом перехода, соответственно таблице 8.4, элемент 4) | |

Таблица 8.4 — Подкрепления и ребра жесткости на сварке

| Категория элементов | Элемент конструкции | | Описание | Требования |
|---------------------|--|---|--|--|
| 80 | $L \leq 50$ мм |  | <u>Продольные ребра</u> 1) Категория элементов варьируется в зависимости от длины ребра L | Толщина ребра должна быть меньше, чем его высота. В противном случае см. таблицу 8.5, элементы 5) и 6) |
| 71 | $50 < L \leq 80$ мм | | | |
| 63 | $80 < L \leq 100$ мм | | | |
| 56 | $L > 100$ мм | | | |
| 71 | $L > 100$ мм $\alpha < 45^\circ$ |  | 2) Продольные ребра в пластине или трубе | |
| 80 | $r > 150$ мм |  | 3) Продольные усиливающие ребра с угловыми швами с плавным переходом к пластине или трубе; торец углового шва усилен (полный провар), длина усиленного шва $> r$ | Элементы 3) и 4) Радиус r плавного перехода выполняется на ребре перед сваркой, сначала механической или газоплазменной резкой; область плавного перехода и сварной шов фрезеруются по направлению стрелки так, чтобы край шва полностью удалялся |
| 90 | $\frac{r}{L} \geq \frac{1}{3}$ или $r > 150$ мм |  | 4) Приставной лист, приваренный к краю пластины или полке балки | |
| 71 | $\frac{1}{6} \leq \frac{r}{L} \leq \frac{1}{3}$ | | | |
| 50 | $\frac{r}{L} < \frac{1}{6}$ | | | |
| | | L — длина присоединения как в элементах 1), 2) и 3) | | |
| 40 | |  | 5) Как приварено, без радиуса перехода | |

Окончание таблицы 8.4

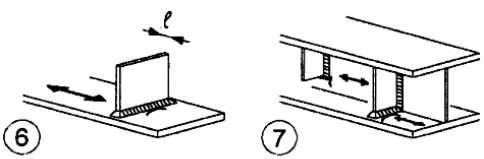
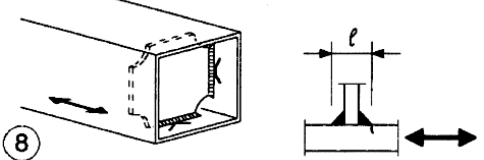
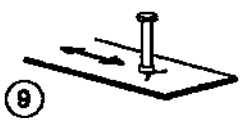
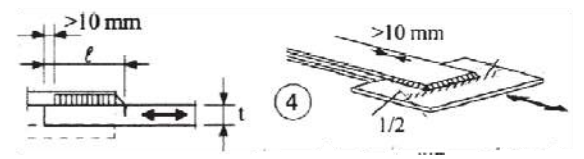
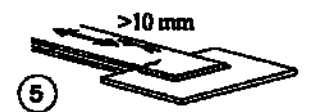
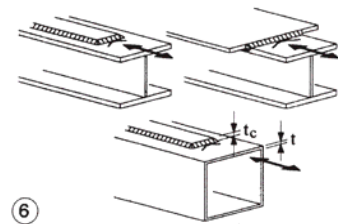
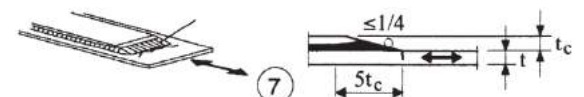
| Категория элементов | Элемент конструкции | | Описание | Требования |
|---------------------|---|--|--|---|
| 80 | $l \leq 50$ мм |  | <p><u>Поперечные ребра</u> 6) Приваренные к пластине 7) Вертикальные ребра жесткости, приваренные к балке или плоской ферме 8) Диафрагма коробчатых балок, приваренная к полке или стенке. Не допускается для малых сечений полых профилей Значения также применимы для подкрепляющих колец</p> | <p><u>Элементы 6) и 7)</u> Концы сварных швов должны быть тщательно отфрезерованы для удаления возможных подрезов 7) $\Delta\sigma$ должна вычисляться по значениям главных напряжений, если ребро жесткости прекращается на стенке, см. левую сторону</p> |
| 71 | $50 < l \leq 80$ мм |  | | |
| 80 |  | | <p>9) Влияние приваренных срезных штифтов на основной металл</p> | |

Таблица 8.5 — Сварные узлы, несущие нагрузку

| Категория элементов | Элемент конструкции | | Описание | Требования | |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|---|--|--|
| 80 | $l < 50$ мм | любые t [мм] | | <p><u>Крестообразные и тавровые соединения</u></p> <p>1) Разрушение в основании торцевых швов с полным проваром и все соединения с неполным проваром</p> <p>2) Разрушение в основании сварного шва на краю присоединения к пластине, с пиками напряжения на краях сварного шва из-за локальной концентрации деформаций пластины</p> <p>3) Разрушение корня торцевого шва в тавровых сварных соединениях с неполным проваром или в соединениях с угловыми сварными швами с эффективным полным проваром в тавровых сварных соединениях</p> | <p>1) Осмотр показывает отсутствие расслоения и отклонений от оси в области погрешностей, не допускаемых EN 1090</p> <p>2) Для вычисления $\Delta\sigma$ использовать измененное номинальное напряжение</p> <p>3) Для соединений с частичным проваром необходимы две оценки усталости. Во-первых, образование трещины в корне шва проверяется в соответствии с напряжениями, определенными в разделе 5, с использованием категории 36* для $\Delta\sigma_w$ и категории 80 для $\Delta\tau_w$. Во-вторых, образование внешней продольной трещины определяется по $\Delta\sigma$ в нагруженной пластине</p> |
| 71 | $50 < l \leq 80$ | любые t | | | |
| 63 | $80 < l \leq 100$ | любые t | | | |
| 56 | $100 < l \leq 120$ | любые t | | | |
| 56 | $l > 120$ | $t \leq 20$ | | | |
| 50 | $100 < l \leq 120$ $l > 200$ | $t > 20$ $20 < t \leq 30$ | | | |
| 45 | $200 < l \leq 300$ $l > 300$ | $t > 30$ $30 < t \leq 50$ | | | |
| 40 | $l > 300$ | $t > 50$ | | | |
| Как элемент 1 в таблице 8.5 | <p>Гибкая панель</p> | | 2) Разрушение в основании сварного шва на краю присоединения к пластине, с пиками напряжения на краях сварного шва из-за локальной концентрации деформаций пластины | <p><u>Элементы 1) – 3)</u></p> <p>Отклонения от оси в наиболее нагруженной пластине не должны превышать 15 % от толщины средней пластины</p> | |
| 36* | | | 3) Разрушение корня торцевого шва в тавровых сварных соединениях с неполным проваром или в соединениях с угловыми сварными швами с эффективным полным проваром в тавровых сварных соединениях | | |

Продолжение таблицы 8.5

| Категория элементов | Элемент конструкции | | Описание | Требования |
|-----------------------------|--|------------------|--|---|
| Как элемент 1 в таблице 8.5 |  <p>Напряженная область главной панели: уклон = 1/2</p> | | <p><u>Нахлесточные сварные соединения</u></p> <p>4) Угловой сварной шов в нахлесточном соединении</p> | <p>4) $\Delta\sigma$ в пластине должно вычисляться в области, показанной на рисунке</p> <p>5) $\Delta\sigma$ должно вычисляться в перекрывающихся пластинах</p> <p>Элементы 4) и 5)</p> |
| 45* |  | | <p><u>Нахлесточные сварные соединения</u></p> <p>5) Угловой сварной шов в нахлесточном соединении</p> | <p>Фланговые швы начинаются на расстоянии не менее чем 10 мм от края пластины</p> <p>Появление сдвиговых трещин в сварном шве должно контролироваться как в элементе конструкции 8)</p> |
| | $t_c < t$ | $t_c \geq t$ |  | <p><u>Внешние накладки в балках и плоских фермах</u></p> <p>6) Торцевые зоны приваренной накладки с поперечным швом или без него</p> <p>6) Если внешняя накладка шире, чем полка, необходим поперечный торцевой сварной шов. Он должен быть тщательно отфрезерован для удаления подрезов. Минимальная длина внешней накладки 300 мм. Для учета влияния размера более коротких накладок см. элемент 1)</p> |
| 56* | $t \leq 20$ | — | | |
| 50 | $20 < t \leq 30$ | $t \leq 20$ | | |
| 45 | $30 < t \leq 50$ | $20 < t \leq 30$ | | |
| 40 | $t > 50$ | $30 < t \leq 50$ | | |
| 36 | — | $t > 50$ | | |
| 56 | <p>Усиленная поперечная концевая сварка</p>  | | <p>7) Внешние накладки в балках и плоских фермах:</p> <p>5t_c — минимальная длина усиленного сварного шва</p> | <p>7) Фрезеровать поперечный лобовой шов до поверхности пластины. Дополнительно, если $t_c > 20$ мм, торец пластины сошлифовывается с уклоном < 1 к 4</p> |

Окончание таблицы 8.5


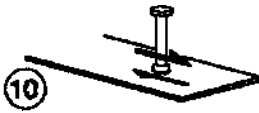


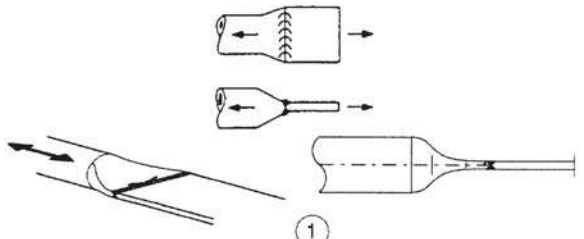
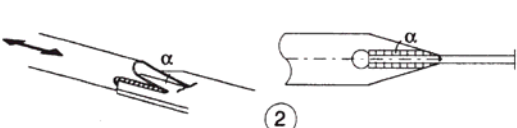
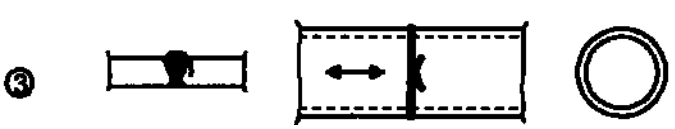

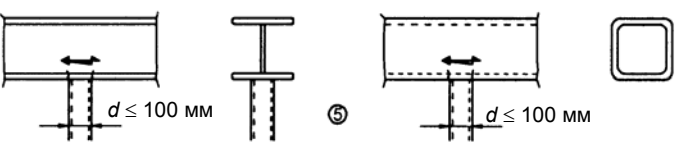
| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|-----------------------------------|--|--|--|
| 80 $m = 5$ |  | <p>8) Непрерывные угловые сварные швы, передающие сдвигающие усилия, такие как сварные швы, соединяющие стенку с полкой в балках</p> <p>9) Нахлесточное сварное соединение</p> | <p>8) $\Delta\tau$ должно вычисляться в сечении сварного шва</p> <p>9) $\Delta\tau$ должно вычисляться в сечении сварного шва с учетом полной длины шва. Конец шва не доводится до края пластины более чем на 10 мм, см. также 4) и 5)</p> |
| См. EN 1994-2 ($90m = 8$) |  | <p><u>Приваренные срезные штифтовые соединители</u></p> <p>10) Для комплексного применения</p> | <p>10) $\Delta\tau$ должно вычисляться по номинальному поперечному сечению штифта</p> |
| 71 |  | <p>11) Приварка трубы к фланцу со стыковыми швами с 80 % полным проваром</p> | <p>11) Сварной шов фрезеруется, $\Delta\sigma$ вычисляется в сечении трубы</p> |
| 40 |  | <p>12) Приварка трубы к фланцу с соединениями с угловыми сварными швами</p> | <p>12) $\Delta\sigma$ вычисляется в сечении трубы</p> |

Таблица 8.6 — Полые профили ($t \leq 12,5$ мм)

| Категория элементов | Элемент конструкции | | Описание | Требования |
|---------------------|--|--|---|---|
| 71 |  | | 1) Соединение трубы с пластиной, трубы сплющиваются, сварка встык (х-образная разделка кромок) | 1) $\Delta\sigma$ вычисляется в сечении трубы. Применимо только для труб диаметром менее 200 мм |
| 71 | $\alpha \leq 45^\circ$ |  | 2) Соединение трубы с пластиной, труба шлицуется и приваривается к пластине. Отверстия на конце шлица | 2) $\Delta\sigma$ вычисляется в сечении трубы. Появление трещин сдвига в сварном шве должно контролироваться с использованием таблицы 8.5, элемент 8) |
| 63 | $\alpha > 45^\circ$ | | | |
| 71 |  | <p>3) Поперечное стыковое соединение</p> <p>3) Стыковые соединения торец-в-торец между полыми профилями круглого сечения</p> | Элементы 3) и 4) Выпуклость сварного шва $\leq 10\%$ ширины сварного шва с плавным переходом | |
| 56 |  | 4) Стыковые соединения торец-в-торец между полыми профилями прямоугольного сечения | Сварка в нижнем положении, контроль качества сварного шва на предмет отсутствия дефектов в пределах погрешностей по EN 1090 Повышается на 2 категории элементов, если $t > 8$ мм | |
| 71 |  | <p>5) Приваренные примыкания</p> <p>5) Полый профиль круглого или прямоугольного сечения приваривается угловыми сварными швами к другому профилю</p> | 5) Сварка, не несущая нагрузки Ширина, параллельная направлению действия нагрузки $l \leq 100$ мм Для других случаев см. таблицу 8.4 | |

Окончание таблицы 8.6

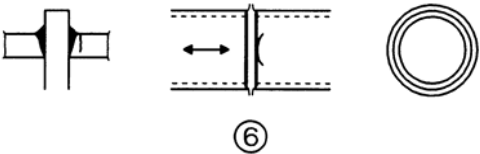
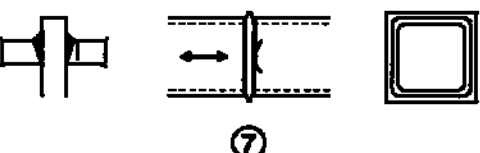
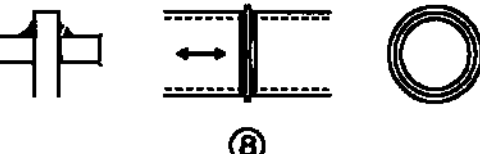
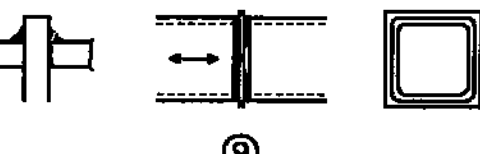
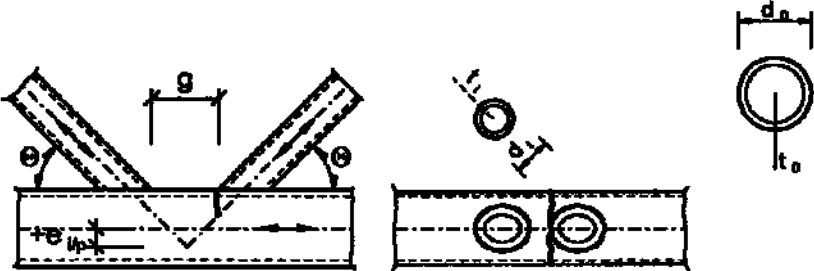
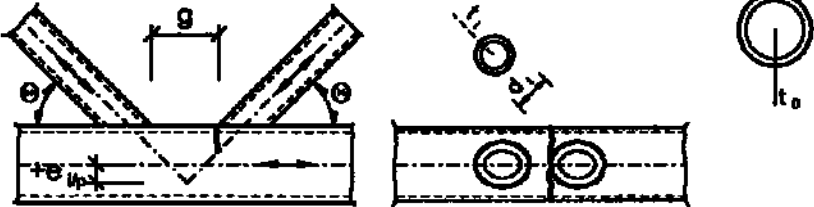
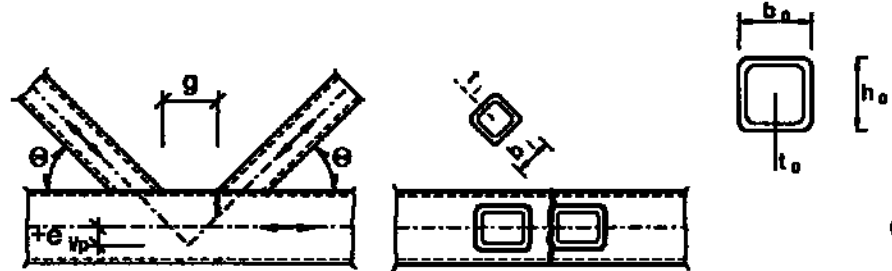
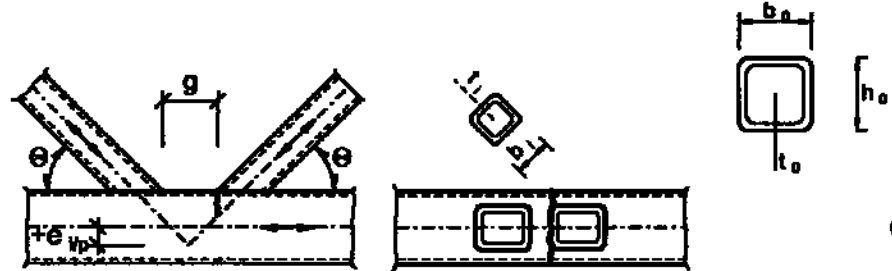
| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|---------------------|--|--|--|
| 50 |  | <p><u>Сварной стык с помощью промежуточной пластины</u></p> <p>6) Соединение со стыковыми швами торце-в-торец между полыми профилями круглого сечения с помощью промежуточной пластины</p> | <p><u>Элементы 6) и 7)</u></p> <p>Нагруженные сварные швы</p> <p>Сварные соединения подвергнуты контролю на предмет отсутствия дефектов в пределах погрешностей по EN 1090</p> |
| 45 |  | <p>7) Соединение со стыковыми швами торце-в-торец между полыми профилями прямоугольного сечения с помощью промежуточной пластины</p> | <p>Повышается на 1 категорию элементов, если $t > 8$ мм</p> |
| 40 |  | <p>8) Соединение с угловыми швами торце-в-торец между полыми профилями круглой формы с помощью промежуточной пластины</p> | <p><u>Элементы 8) и 9)</u></p> <p>Нагруженные сварные швы</p> <p>Толщина стенки $t \leq 8$ мм</p> |
| 36 |  | <p>9) Соединение с угловыми швами торце-в-торец между полыми профилями прямоугольной формы с помощью промежуточной пластины</p> | |

Таблица 8.7 — Узловые соединения решетчатых ферм

| Категория элементов | Элемент конструкции | | Требования |
|----------------------------------|--|---|--|
| <p>90 $m = 5$</p> | <p>$\frac{t_0}{t_i} \geq 2,0$</p> | <p>Соединения с зазором: элемент 1): соединения типов К и N, полые профили круглого сечения:</p>  | <p><u>Элементы 1) и 2)</u> Требуется отдельные расчеты для поясов и раскосов Для промежуточных значений соотношений t_0/t_i выполняется линейная интерполяция между категориями элементов Угловые швы разрешены для раскосов с толщиной стенки $t \leq 8$ мм</p> |
| <p>45 $m = 5$</p> | <p>$\frac{t_0}{t_i} = 1,0$</p> |  | <p>t_0 и $t_i \leq 8$ мм $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ $b_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ $d_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ $0,4 \leq b/b_0 \leq 1,0$ $0,25 \leq d/d_0 \leq 1,0$ $b_0 \leq 200$ мм $d_0 \leq 300$ мм $-0,5h_0 \leq e_{ip} \leq 0,25h_0$ $-0,5d_0 \leq e_{ip} \leq 0,25d_0$ $e_{op} \leq 0,02b_0$ или $\leq 0,02d_0$, где e_{op} — расцентровка узла</p> |
| <p>71 $m = 5$</p> | <p>$\frac{t_0}{t_i} \geq 2,0$</p> | <p>Соединения с зазором: элемент 2): соединения типа К и N, полые профили прямоугольного сечения:</p>  | <p><u>Элемент 2)</u> $0,5 \cdot (b_0 - b_i) \leq g \leq 1,1 \cdot (b_0 - b_i)$ и $g \geq 2t_0$</p> |
| <p>36 $m = 5$</p> | <p>$\frac{t_0}{t_i} = 1,0$</p> |  | |

Окончание таблицы 8.7

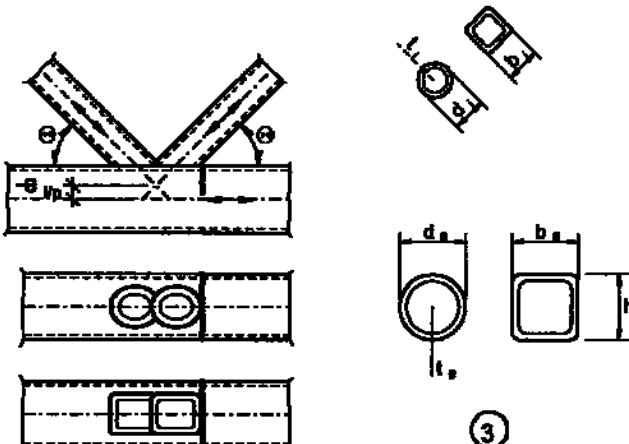
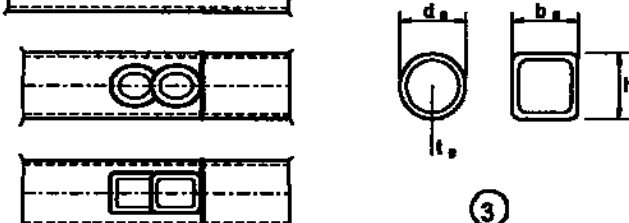
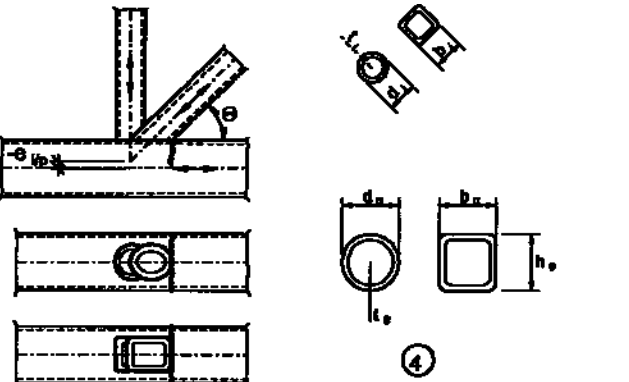
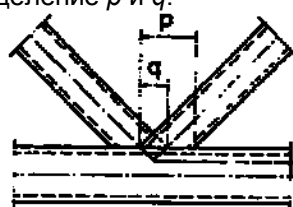
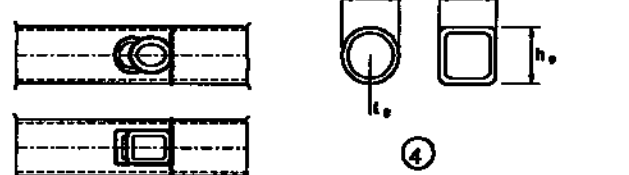
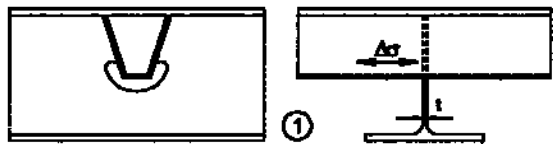
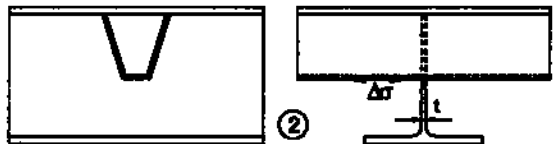
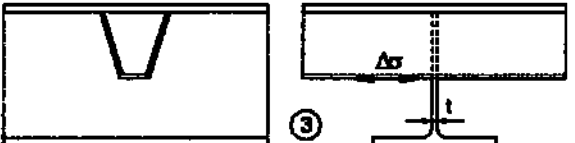
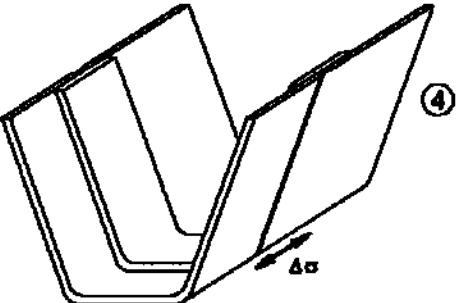
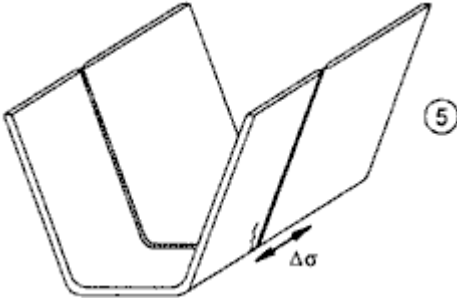
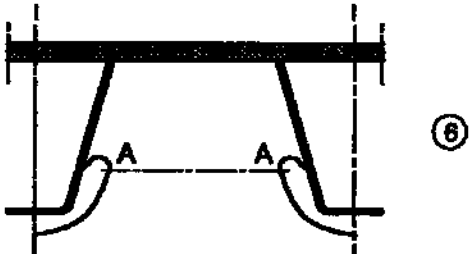
| Категория элементов | Элемент конструкции | Требования |
|---|--|--|
| <p>71 $m = 5$</p> <p>$\frac{t_0}{t_i} \geq 1,4$</p> | <p>Соединение с нахлестом: элемент 3): соединения типа К, полые профили круглого или прямоугольного сечения:</p>  | <p><u>Элементы 3) и 4)</u> $30\% \leq \text{нахлест} \leq 100\%$ Нахлест = $(q/p) \cdot 100\%$ Требуются отдельные расчеты для поясов и раскосов Для промежуточных значений соотношения t_0/t_i выполняется линейная интерполяция между категориями элементов Угловые швы разрешены для раскосов с толщиной стенки $t \leq 8$ мм</p> |
| <p>56 $m = 5$</p> <p>$\frac{t_0}{t_i} = 1,0$</p> |  | <p>t_0 и $t_i \leq 8$ мм $35^\circ \leq \Theta \leq 50^\circ$ $b_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ $d_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ $0,4 \leq b/b_0 \leq 1,0$ $0,25 \leq d/d_0 \leq 1,0$ $b_0 \leq 200$ мм $d_0 \leq 300$ мм $-0,5h_0 \leq e_{ilp} \leq 0,25h_0$ $-0,5d_0 \leq e_{ilp} \leq 0,25d_0$ $e_{olp} \leq 0,02b_0$ или $\leq 0,02d_0$, где e_{olp} — расцентровка узла</p> |
| <p>71 $m = 5$</p> <p>$\frac{t_0}{t_i} \geq 1,4$</p> | <p>Соединение с нахлестом: элемент 4): соединения типа N, полые профили круглого или прямоугольного сечения:</p>  | <p>Определение p и q:</p>  |
| <p>50 $m = 5$</p> <p>$\frac{t_0}{t_i} = 1,0$</p> |  | |

Таблица 8.8 — Ортоотропные плиты — закрытые стрингеры

| Категория элементов | Элемент конструкции | | Описание | Требования |
|---------------------|--|--|---|---|
| 80 | $t \leq 12 \text{ мм}$ |  | 1) Неразрезной продольный стрингер, с дополнительным вырезом в поперечной балке | 1) Расчет на основе размаха нормальных напряжений цикла $\Delta\sigma$ в продольном стрингере |
| 71 | $t > 12 \text{ мм}$ | | | |
| 80 | $t \leq 12 \text{ мм}$ |  | 2) Неразрезной продольный стрингер, без дополнительного выреза в поперечной балке | 2) Расчет на основе размаха нормальных напряжений цикла $\Delta\sigma$ в стрингере |
| 71 | $t > 12 \text{ мм}$ | | | |
| 36 |  | | 3) Отдельный продольный стрингер с каждой стороны поперечной балки | 3) Расчет на основе размаха нормальных напряжений цикла $\Delta\sigma$ в стрингере |
| 71 |  | | 4) Соединения в ребрах, стыковое соединение с полным проваром на стальной подкладке | 4) Расчет на основе размаха нормальных напряжений цикла $\Delta\sigma$ в стрингере |

Продолжение таблицы 8.8

| Категория элементов | Элемент конструкции | | Описание | Требования |
|---------------------|--|--|--|---|
| 112 | Как элементы 1, 2, 4 в таблице 8.3 |  | <p>5) Стыковое соединение с полным проваром в ребрах, сварка с обеих сторон без стальной подкладки</p> | <p>5) Расчет на основе размаха нормальных напряжений цикла $\Delta\sigma$ в стрингере. Прихваточные сварные швы внутри кромок стыковых швов</p> |
| 90 | Как элементы 5, 7 в таблице 8.3 | | | |
| 80 | Как элементы 9, 11 в таблице 8.3 | | | |
| 71 |  | | <p>6) Опасные сечения стенки поперечной балки из-за вырезов</p> | <p>6) Расчет на основе размаха напряжений цикла в опасной секции с учетом эффекта Виренделя</p> <p><i>Примечание</i> — В случае, если размах напряжений цикла определяется по EN 1993-2, 9.4.2.2(3), может использоваться группа элементов 112.</p> |

Окончание таблицы 8.8

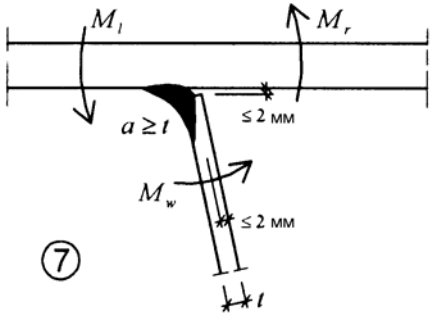
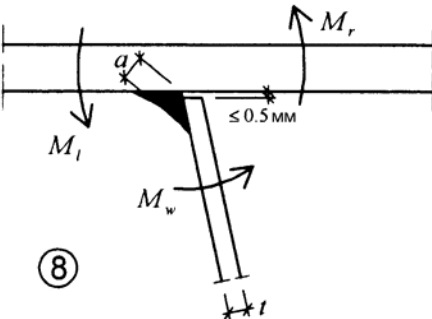
| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|---------------------|--|--|--|
| 71 |  | $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_w}{W_w}$ <p>Сварной шов, соединяющий плиту настила с трапецевидным или V-образным ребром секции 7) Неполный провар с $a \geq t$</p> | 7) Расчет на основе размаха нормальных напряжений цикла от изгиба пластины |
| 50 |  | $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_w}{W_w}$ <p>8) Угловой сварной шов или неполный провар вне зоны элемента 7)</p> | 8) Расчет на основе размаха нормальных напряжений цикла от изгиба пластины |

Таблица 8.9 — Ортоотропные плиты — открытые стрингеры

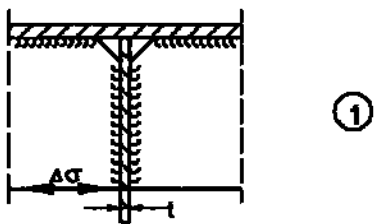
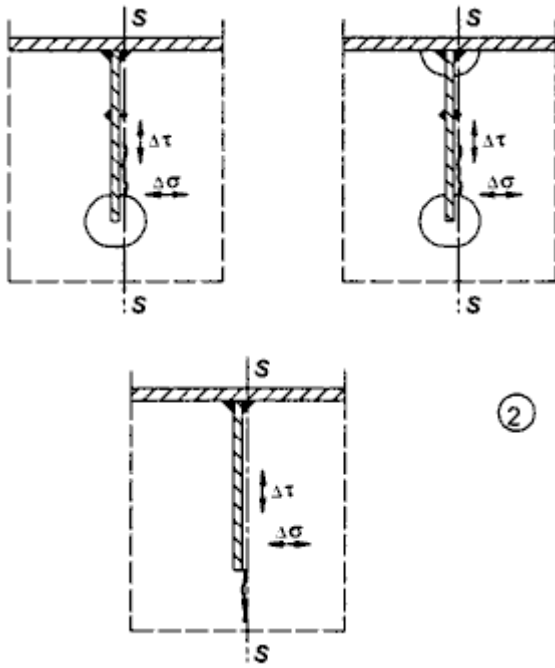
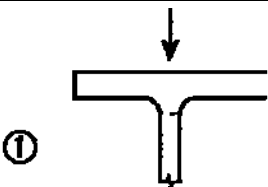
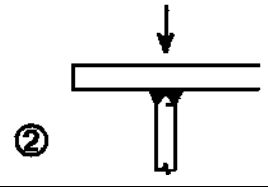
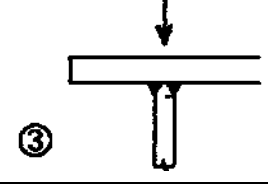
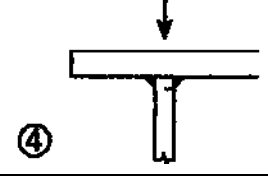
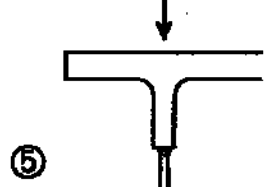
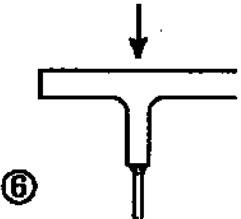
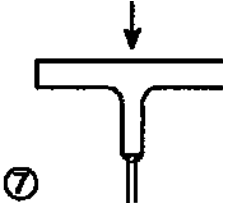
| Категория элементов | Элемент конструкции | | Описание | Требования |
|---------------------|--|---|---|---|
| 80 | $t \leq 12 \text{ мм}$ |  | 1) Соединение продольного стрингера с поперечной балкой | 1) Расчет на основе размаха нормальных напряжений цикла $\Delta\sigma$ в стрингере |
| 71 | $t > 12 \text{ мм}$ | | <p>2) Соединение неразрезного продольного стрингера с поперечной балкой</p> $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_s}{W_{\text{net},s}}$ $\Delta\tau = \frac{\Delta V_s}{A_{w,\text{net},s}}$ | <p>2) Расчет на основе суммирования размаха касательных напряжений цикла $\Delta\tau$ и нормальных напряжений цикла $\Delta\sigma$ в стенке поперечной балки, по эквивалентному размаху напряжений цикла:</p> $\Delta\sigma_{\text{eq}} = \frac{1}{2} \cdot (\Delta\sigma + \sqrt{\Delta\sigma^2 + 4\Delta\tau^2})$ |
| 56 |  | | | |

Таблица 8.10 — Соединение верхней полки и стенки балки

| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|---------------------|---|---|--|
| 160 |  | 1) Двутавровые профили с узкими или широкими полками | 1) Размах вертикальных сжимающих напряжений цикла $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ в стенке от колесных нагрузок |
| 71 |  | 2) Торцевой шов с полным проваром | 2) Размах вертикальных сжимающих напряжений цикла $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ в стенке от колесных нагрузок |
| 36* |  | 3) Тавровое соединение с неполным проваром шва или с эффективным полным проваром, соответствующим EN 1993-1-8 | 3) Размах напряжений цикла $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ в сечении шва от вертикального сжатия колесными нагрузками |
| 36* |  | 4) Угловые швы | 4) Размах напряжений цикла $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ в сечении шва от вертикального сжатия колесными нагрузками |
| 71 |  | 5) Полка из таврового профиля с полным проваром стыкового шва соединения со стенкой балки | 5) Размах вертикальных сжимающих напряжений цикла $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ в стенке от колесных нагрузок |

Окончание таблицы 8.10

| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|---------------------|---|---|--|
| 36* |  | 6) Полка из таврового профиля с неполным проваром торцевого шва соединения или с эффективным полным проваром шва, соответствующим EN 1993-1-8 | 6) Размах напряжений цикла $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ в сечении шва от вертикального сжатия колесными нагрузками |
| 36* |  | 7) Полка из таврового профиля с угловыми швами соединения со стенкой | 7) Размах напряжений цикла $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ в сечении шва от вертикального сжатия колесными нагрузками |

Приложение А (справочное)

Определение параметров усталостного нагружения и форм контроля

А.1 Определение нагружений

(1) Типовые программы нагружения, которые достоверно отражают установленную верхнюю границу всех эксплуатационных нагрузок, ожидаемых в течение расчетной долговечности, должны определяться с использованием накопленного опыта работы похожих конструкций, рисунок А.1 а).

А.2 История нагружения в элементе

(1) История нагружения должна назначаться для элемента конструкции из соображений, учитывающих тип и форму соответствующих блоков колебаний и эффект динамического увеличения реакции конструкции, рисунок А.1 б).

(2) Истории нагружения могут также быть определены с помощью измерений на похожих конструкциях или из динамических расчетов конструкции.

А.3 Подсчет циклов

(1) Истории нагружения могут быть оценены одним из следующих методов подсчета циклов:

- метод дождевого потока;
- метод резервуара, рисунок А.1 с).

Для определения:

- размахов напряжений циклов и числа циклов;
- средних напряжений, в случаях, когда требуется учитывать влияние среднего напряжения.

А.4 Спектр размаха напряжений цикла

(1) Спектр размаха напряжений цикла должен определяться представлением размахов напряжений цикла и соответствующего числа циклов в убывающем порядке, рисунок А.1 d).

(2) Спектры размахов напряжений цикла могут быть изменены исключением малых пиковых значений размахов напряжений цикла, которые вносят менее 1 % полного повреждения, и малых размахов напряжений цикла ниже предела повреждаемости.

(3) Спектры размахов напряжений цикла могут быть стандартизованы по их форме, например с координатами $\overline{\Delta\sigma} = 1,0$ и $\overline{\Sigma n} = 1,0$.

А.5 Число циклов до разрушения

(1) При использовании расчетного спектра размахи приложенных напряжений цикла $\Delta\sigma_i$ должны быть умножены на γ_{Ff} , а значения предела выносливости $\Delta\sigma_c$ должны быть поделены на γ_{Mf} для получения значения долговечности N_{Ri} — для каждого блока в спектре. Повреждение D_d в течение проектной долговечности должно вычисляться как

$$D_d = \sum_i^n \frac{n_{Ei}}{N_{Ri}}, \quad (\text{A.1})$$

где n_{Ei} — число циклов, соответствующее размаху напряжений цикла $\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i$ для i -го блока во взвешенном спектре;

N_{Ri} — долговечность (в циклах), полученная из взвешенной кривой $\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} - N_R$ — для размаха напряжений цикла $\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i$.

(2) На основании эквивалентности D_d расчетный спектр размахов напряжений цикла может быть преобразован в любой эквивалентный расчетный спектр размахов напряжений цикла, например расчетный спектр размаха напряжений цикла постоянной амплитуды, дающий эквивалентное усталостное нагружение Q_e , соответствующее числу циклов $n_{\max} = \Sigma n_i$, или $Q_{E,2}$, соответствующее числу циклов $N_c = 2 \cdot 10^6$.

A.6 Формы контроля

(1) Оценка усталости, основанная на накоплении повреждений, должна удовлетворять следующим критериям:

— основываться на накоплении повреждений

$$D_d \leq 1,0; \tag{A.2}$$

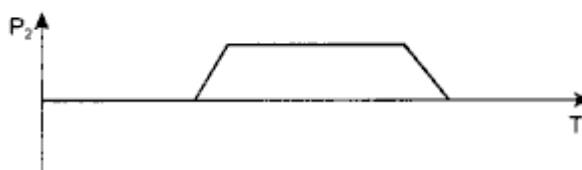
— основываться на размахе напряжений цикла

$$\gamma_{FF} \Delta\sigma_{E,2} \leq m \sqrt{D_d} \cdot \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{MF}}, \text{ где } m = 3. \tag{A.3}$$

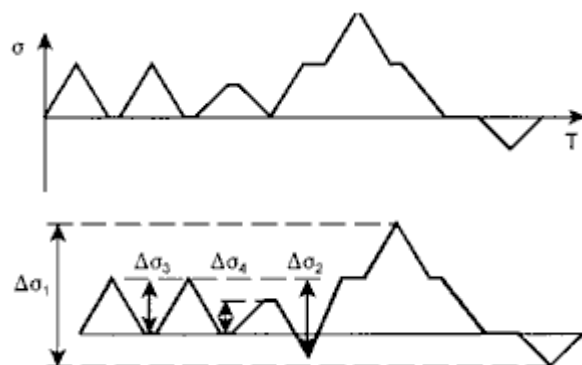
a) Последовательность нагружения:
типичный цикл нагружения (повторяемый n раз за время проектной долговечности)



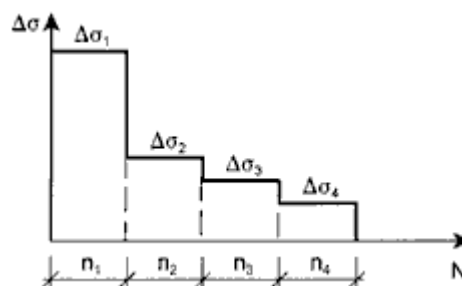
b) История нагружений элемента



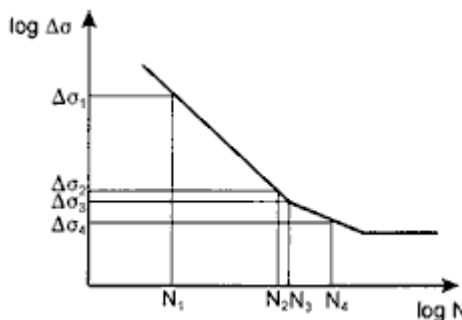
c) Подсчет числа циклов (например, методом резервуара)



d) Спектр размаха напряжений цикла



e) Число циклов до разрушения



f) Суммирование повреждений (гипотеза Пальмгрена-Майнера)

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} \leq D_L$$

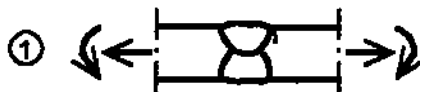
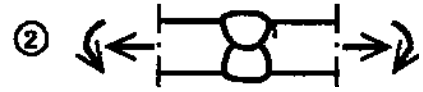
Рисунок A.1 — Метод накопленного повреждения

Приложение В
(справочное)

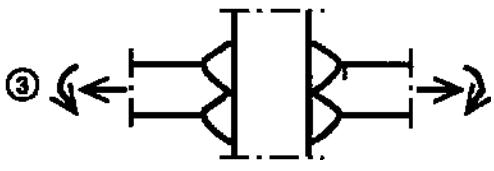
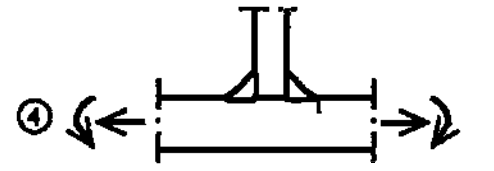
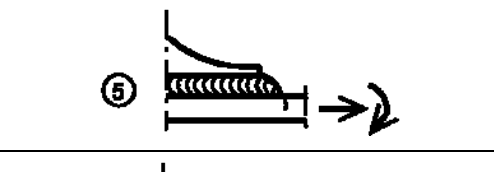
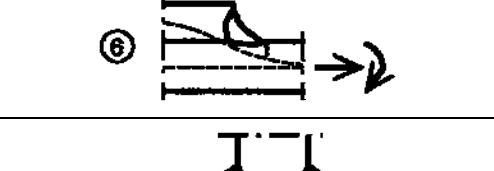
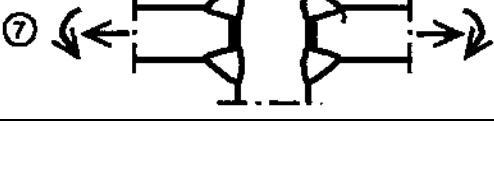
Сопротивление усталости с использованием метода локального напряжения

(1) Для применения метода локального напряжения в таблице В.1 приведены категории элементов с трещинами, зарождающимися от:
 — краев стыковых сварных швов;
 — краев ребер, приваренных угловыми швами;
 — краев угловых швов в крестообразных соединениях.

Таблица В.1 — Категории элементов для использования метода локального напряжения

| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|---------------------|---|--|---|
| 112 |  | 1) Стыковое соединение с полным проваром | 1) Все швы фрезеруются до поверхности пластин параллельно направлению, указанному стрелкой Участки натекания металла на поверхность основного металла удаляются, края пластин должны быть сфрезерованы до поверхности в направлении действия напряжения Сварка с обеих сторон, проверка неразрушающим контролем По поводу отклонения от осей см. примечание 1 |
| 100 |  | 2) Стыковое соединение с полным проваром | 2) Сварной шов не фрезеруется до поверхности Участки натекания металла на поверхность основного металла должны быть удалены, края пластин должны быть сфрезерованы до поверхности в направлении действия напряжения Сварка с обеих сторон По поводу отклонения от осей см. примечание 1 |

Окончание таблицы В1

| Категория элементов | Элемент конструкции | Описание | Требования |
|--|---|---|--|
| 100 |  | 3) Крестообразное соединение с полным проваром стыковых К-образных швов | 3) Угол наклона поверхности сварного шва $\leq 60^\circ$ По поводу отклонения от осей см. примечание 1 |
| 100 |  | 4) Угловые швы, не несущие нагрузки | 4) Угол наклона поверхности сварного шва $\leq 60^\circ$ См. также примечание 2 |
| 100 |  | 5) Торцы кронштейнов, торцы продольных ребер жесткости | 5) Угол наклона поверхности сварного шва $\leq 60^\circ$ См. также примечание 2 |
| 100 |  | 6) Концы нахлесточных пластин и подобные им соединения | 6) Угол наклона поверхности сварного шва $\leq 60^\circ$ См. также примечание 2 |
| 90 |  | 7) Крестообразные соединения с несущими нагрузку угловыми швами | 7) Угол наклона поверхности сварного шва $\leq 60^\circ$ По поводу отклонения от осей см. примечание 1 См. также примечание 2 |
| <p><i>Примечания</i></p> <p>1 Таблица В.1 не учитывает эффекты отклонения от осей. Они должны рассматриваться отдельно в процессе определения напряжения.</p> <p>2 Таблица В.1 не учитывает зарождения усталостных трещин от корня сварного шва с последующим распространением через толщину шва.</p> <p>3 Определение угла наклона поверхности шва см. в EN 1090.</p> | | | |

Приложение Д.А
(справочное)

**Сведения о соответствии государственных стандартов
ссылочным европейским стандартам**

Таблица Д.А.1

| Обозначение и наименование европейского стандарта | Степень соответствия | Обозначение и наименование государственного стандарта |
|--|----------------------|--|
| EN 1990:2002 Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций | IDT | СТБ EN 1990-2007 Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций |

**Национальное приложение
к ТКП EN 1993-1-9-2009
Еврокод 3
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Часть 1-9. Усталостная прочность**

National Annex
to TCP EN 1993-1-9-2009
Eurocode 3
DESIGN OF STEEL STRUCTURES
Part 1-9. Fatigue

Предисловие

Preface

Настоящее национальное приложение следует применять совместно с ТКП EN 1993-1-9-2009.

This National Annex is used with the TCP EN 1993-1-9-2009 standard.

Настоящее национальное приложение содержит национальные параметры и рекомендации для следующих элементов EN 1993-1-9, национальный выбор которых разрешен:

- 1.1(2);
- 2(2);
- 2(4);
- 3(2);
- 3(7);
- 5(2);
- 6.1(1);
- 6.2(2);
- 7.1(3);
- 7.1(5);
- 8(4).

This National Annex includes national parameters and guidance for the following paragraphs in EN 1993-1-9 where national selection is permitted:

- 1.1(2);
- 2(2);
- 2(4);
- 3(2);
- 3(7);
- 5(2);
- 6.1(1);
- 6.2(2);
- 7.1(3);
- 7.1(5);
- 8(4).

НП.1 Национальные требования и национально установленные параметры, которые следует использовать при строительстве зданий и сооружений на территории Республики Беларусь

National regulations and national determined parameters used at building and construction in Republic of Belarus

| Элемент EN 1993-1-9 | Параметры, устанавливаемые на национальном уровне National Determined Parameters (NDP) |
|------------------------|---|
| 1.1(2) | <p>1.1. Область применения 1.1. Scope</p> <p>(2) Контроль точности изготовления конструкций определяется нормативными документами Системы обеспечения точности геометрических параметров в строительстве, включающей: ГОСТ 21778-81 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения ГОСТ 21779-82 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски ГОСТ 23118-99 Конструкции стальные строительные. Общие технические условия СТБ 1921-2008 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности</p> <p>(2) The production accuracy of constructions is checked out according to following regulatory documents: GOST 21778-81 System of ensuring of geometrical parameters accuracy in construction. Main principles GOST 21779-82 System of ensuring of geometrical parameters accuracy in construction. Production tolerances GOST 23118-99 Building Steel Structures. General Specifications STB 1921-2008 System of ensuring of geometrical parameters accuracy in construction. Accuracy computation</p> |
| 2(2) | Принято по EN 1993-1-9 без изменений Accepted according to EN 1993-1-9 without change |
| 2(4) | Принято по EN 1993-1-9 без изменений Accepted according to EN 1993-1-9 without change |
| 3(2) | <p>3 Методы оценки 3 Assessment methods</p> <p>(2) Виды и методы контроля стальных конструкций принимают в соответствии с ГОСТ 23118-99, а также стандартами и техническими условиями на конкретные конструкции серийного производства, проектной документацией на конструкции единичного или мелкосерийного производства</p> <p>(2) The steel structures inspection types and methods are accepted according to GOST 23118-99, as far as to standards and specifications on particular serial manufactured constructions and project documents on constructions of individual or small-scale manufacture</p> |
| 6.1(1) | Принято по EN 1993-1-9 без изменений Accepted according to EN 1993-1-9 without change |
| 6.2(2) | Принято по EN 1993-1-9 без изменений Accepted according to EN 1993-1-9 without change |
| 7.1(3) | Принято по EN 1993-1-9 без изменений Accepted according to EN 1993-1-9 without change |
| 7.1(5) | Принято по EN 1993-1-9 без изменений Accepted according to EN 1993-1-9 without change |
| 8(4) | Принято по EN 1993-1-9 без изменений Accepted according to EN 1993-1-9 without change |

