ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

РАСЧЕТЫ И ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ. РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

РД 50—551—85

Цена 20 коп.

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1986

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНЫ

Институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР (ИЭС)

Институтом машиноведения им. А. А. Благонравова АН СССР (ИМАШ)

Всесоюзным научно-исследовательским институтом по нормализации в машиностроении (ВНИИНМАШ)

Руководители разработки:
д-р техн. наук чл.-кор. АН УССР **В. И. Труфяков**
д-р техн. наук, проф. **В. П. Когаев**, д-р техн. наук, проф. **А. П. Гусенков**
канд. техн. наук **В. Л. Соболев**

ИСПОЛНИТЕЛИ

В. И. Дворецкий, канд. техн. наук, **А. П. Коробович**, **П. П. Михеев**, канд. техн. наук, **Кныш В. В.**, канд. физ-мат. наук, **И. М. Петрова**, канд. техн. наук, **Л. Л. Смирнова**, канд. техн. наук, **В. М. Нестеров**

РАССМОТРЕНЫ И ОДОБРЕНЫ научно-методической комиссией по стандартизации в области методов расчетов и испытаний на усталость материалов и элементов конструкций секции «Расчеты и испытания на прочность» НТС Госстандарта (протокол от 22.10.84).

Председатель комиссии д-р техн. наук, проф. **Когаев В. П.**

ВНЕСЕНЫ Институтом электросварки им. Е. О. Патона АН УССР

Зам. директора института канд. техн. наук **Казимиров А. А.**

УТВЕРЖДЕНЫ И РЕКОМЕНДОВАНЫ к применению Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам

УДК 621.791.052:539.431.001.24[083.75]

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Расчеты и испытания на прочность. Расчетно-экспериментальные методы оценки сопротивления усталости сварных соединений

РД 50—551—85

Введены впервые

ОКСТУ 0809

Утверждены Постановлением Госстандарта от 22 апреля 1985 г. № 1133, срок введения установлен с 1 января 1986 г.

Целью методических указаний является нормирование испытаний сварных соединений на усталость и обработки их результатов, расчетно-экспериментальной оценки распределений пределов выносливости и назначения расчетных сопротивлений усталости в зависимости от вероятности разрушения элементов металлоконструкций, а также от значений пределов выносливости качественных соединений, необработанных после сварки и выполненных из низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей и эффективности упрочняющих обработок.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие методические указания регламентируют:

проведение испытаний образцов сварных соединений на усталость при простых видах нагружения: растяжении, сжатии, изгибе, кручении и сложных комбинациях простых видов нагружения, симметричных и асимметричных циклах напряжений, изменяющихся по простому периодическому закону с постоянными параметрами при нормальной температуре и влажности по ГОСТ 15150—69 (исполнение У, категория 4.2) в многоцикловой области;

построение кривой усталости и определение пределов выносливости σ_R сварных соединений по результатам усталостных испытаний $(\sigma_i\ ;\ N_{ij})$; расчетно-экспериментальную оценку распределений пределов выносливости $(\sigma_R\ ,\ S_{\sigma_R})$ и назначение расчетных сопротивлений усталости по параметру вероятности;

значения пределов выносливости необрабатываемых качественных сварных соединений по ПРТ в зависимости от схемы элемента и расположения расчетного сечения.

© Издательство стандартов, 1986

1.2. Методические указания распространяются на сварные соединения несущих конструкций и деталей машин, изготавливаемых из проката и поковок черных металлов и эксплуатирующихся в обычных климатических условиях.

1.3. Методические указания предназначаются для работников НИИ, КБ, отраслевых и межотраслевых лабораторий, проектных и технологических организаций.

1.4. Термины, определения и обозначения, применяемые в методических указаниях, по ГОСТ 23207—78, ГОСТ 2312—68.

1.5. Методические указания обеспечивают погрешность оценки среднего значения пределов выносливости $\overline{\sigma_R}$ и среднего квадратического отклонения $S_{\sigma_R} \pm 10\ \%$ от определяемой величины.

2. ОБРАЗЦЫ И ТРЕБОВАНИЯ К ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЮ

2.1. Образцы сварных соединений для испытаний на усталость изготавливают из листового или (n) фасонного проката с помощью автоматической, полуавтоматической, ручной и других способов сварки, применяемых при изготовлении конструкций общего и специального назначения. Длина и сечения швов в образцах для усталостных испытаний устанавливаются, исходя из условия обеспечения равнопрочности сварного соединения основному металлу при статическом нагружении.

2.2. Размеры сварных образцов выбирают таким образом, чтобы они обеспечивали воспроизведение типа соединения, вида и технологического процесса сварки, режимов сварки, предельную (максимальную) величину остаточных сварочных напряжений, отвечающих реальным сварным конструкциям.

2.3. При изготовлении сварных образцов должны удовлетворяться требования, предъявляемые к разделкам свариваемых кромок и форме швов, в соответствии с ГОСТ 2564—80, ГОСТ 11584—75, ГОСТ 14771—76.

2.4. Выделяют восемь основных типов сварных соединений и прикреплений: стыковое (рис. 1); нахлесточное с лобовыми (угловыми) швами (рис. 2); нахлесточное с фланговыми швами (рис. 3); нахлесточное с обваркой по контуру (рис. 4); тавровое (рис. 5); прикрепление фасонок встык (рис. 6); прикрепление ребер жесткости (рис. 7); прикрепление накладок и других вспомогательных элементов (рис. 8).

2.5. Предельные остаточные напряжения в стыковых соединениях, выполненных электродуговой сваркой, достигаются на образцах шириной не менее 200 мм и толщиной не менее 26 мм. При этом каждый образец должен свариваться отдельно, а не вырезаться из предварительно сваренной крупномасштабной заготовки. На образцах меньшего сечения, в том числе вырезанных из предварительно сваренной крупномасштабной заготовки, предельные остаточные напряжения могут быть наведены искусственно путем наплавки продольных валиков или локального нагрева. Схематическое изображение расположения продольных наплавок или зон

локального нагрева образцов показано на рис. 9. Наплавка дополнительных валиков или локальный нагрев образцов должны производиться после завершения сварки основных швов и остывания образцов до температуры +30—20 °С, а также механической обработки боковых граней. При искусственном наведении предельных остаточных напряжений ширина зоны нагрева до температуры 600 °С должна быть меньше $^1/_2$ ширины образца. Такая технология искусственного наведения предельных остаточных напряжений в образцах для усталостных испытаний может использоваться и применительно к другим типам сварных соединений.

2.6. В тех случаях, когда остаточные сварочные напряжения в несущих элементах конструкций не достигают предельных значений (короткие стыковые швы, тонколистовой материал, соединения тонкостенного фасонного проката и др.), размеры поперечных сечений образцов для получения характеристик сопротивления усталости сварных соединений могут быть соответственно уменьшены.

2.7. Правка сварных образцов деформированием и другими способами, вызывающими релаксацию остаточных напряжений, не допускается, если это не предусматривается программой испытаний.

2.8. Форма образца, допуски на депланацию и расстояния между захватными частями устанавливаются так, чтобы исключить дополнительное влияние этих факторов на напряженное состояние в зоне сварного соединения образцов.

2.9. В пределах намеченной серии испытаний технология изготовления образцов, материал и его основные механические свойства, способ вырезки и подготовки заготовок под сварку, тип соединения, сварочные материалы, способ и режимы сварки, качество обработки боковых граней должны быть одинаковы.

2.10. Способ вырезки заготовок и маркировка образцов не должны оказывать влияния на сопротивление усталости сварных соединений. Заготовки вырезают с ориентацией продольной оси образца относительно направления проката (вдоль или поперек) и направления силового воздействия при испытаниях. В тех случаях, когда заготовки для образцов вырезаются термическим способом (газовой или плазменной резкой), при их разметке следует предусматривать припуск на последующую механическую обработку 3—10 мм. Боковые грани образцов после сварки обрабатываются механическим способом. Заусенцы на боковых гранях должны быть удалены.

2.11. Перед испытаниями образцов сварные соединения рекомендуется подвергать дефектоскопическому контролю (рентгеновскому, ультразвуковому и др.). Дефекты сварки (непровары, шлаковые включения, поры, подрезы) в сварных соединениях образцов, отобранных для испытаний, не допускаются, если это не предусматривается программой испытаний.

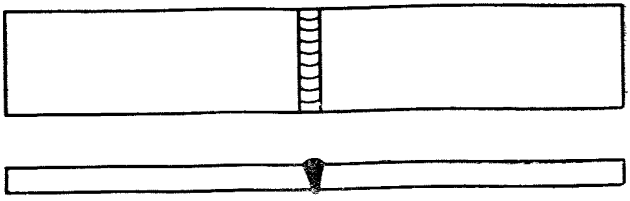


Рис. 1

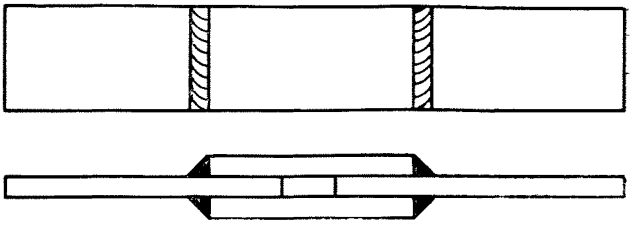


Рис. 2

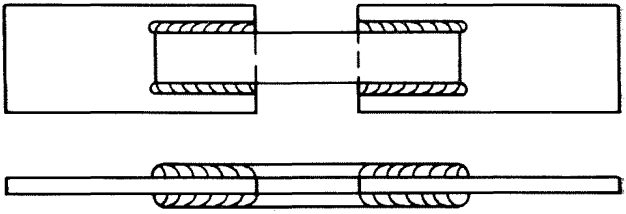


Рис. 3

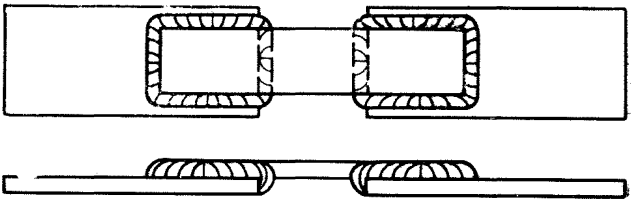


Рис. 4

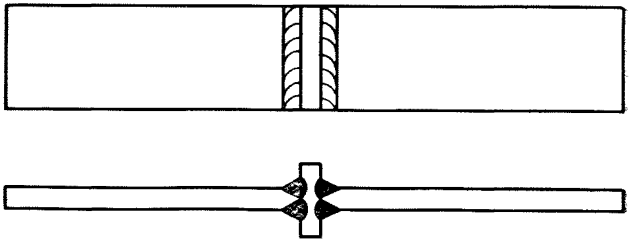


Рис. 5

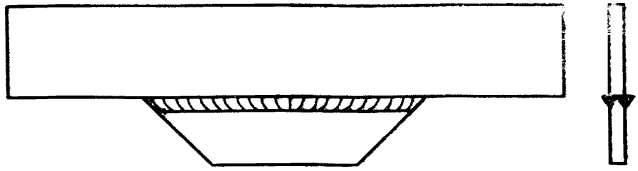


Рис. 6

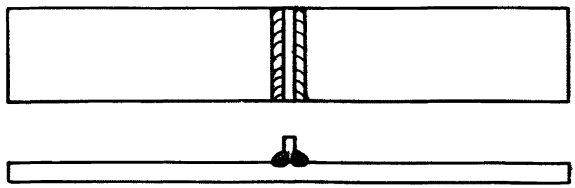


Рис. 7

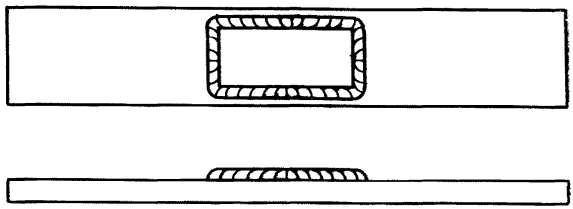


Рис. 8



Рис. 9

2.12. На образцах, отобранных для испытаний, рекомендуется определять следующие показатели, способные изменить сопротивление усталости сварных соединений: геометрические размеры исследуемого сечения, ширину швов и высоту их усиления, радиус перехода от швов к основному металлу, глубину проплавления угловых швов и размеры их катетов.

2.13. На одном-двух образцах каждой партии, отобранной для усталостных испытаний, рекомендуется определять характер распределения и величину остаточных сварочных напряжений, химический состав, механические свойства основного и наплавленного металлов.

2.14. В тех случаях, когда программой испытаний предусматриваются упрочняющие обработки сварных соединений (механическая, аргонодуговая, поверхностный наклеп, местное пластическое обжатие, местный нагрев, ультразвуковая, взрывная, предварительная перегрузка, термообработка и др.), следует фиксировать основные параметры и режимы обработки.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

3.1. Количество образцов и уровни нагружения устанавливаются в зависимости от поставленной цели испытаний (см. пп. 1.1).

3.2. Для определения кривой усталости и σ_R рекомендуется испытывать не менее восьми образцов. При этом необходимо стремиться, чтобы не менее шести образцов было испытано на уровнях нагружения, равномерно расположенных в интервале долговечностей $5 \cdot 10^4$—$2 \cdot 10^6$ циклов. В дальнейшем уровни нагружения понижают на 10—20 МПа и каждый раз испытывают по два образца до тех пор, пока один или оба не пройдут базу испытаний неразрушившись. Экспериментальное значение σ_R устанавливается в зависимости от исхода испытаний образцов на уровне нагружения в соответствии с разд. 4. Результаты испытания (σ_i; N_{ij}) заносят в табл. 3.1 и протокол испытаний по ГОСТ 23026—78.

Таблица 3.1

Исходные данные по принятому критерию усталостного разрушения при асимметрии цикла R_σ

Максимальные значения номинальных напряжений σ_i, МПа	Циклическая долговечность образцов (циклов)
σ_1	N_{11} N_{12} N_{131} ... N_{1n_1}
σ_2	N_{21} N_{22} N_{23} ... N_{2n_2}
σ_3	N_{31} N_{32} N_{33} ... N_{3n_3}
⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮
σ_i	N_{i1} N_{i2} N_{i3} ... N_{in_i}
⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮
σ_k	N_{kn_1} N_{kn_2} N_{kn_3} N_{kn_k}

3.3. Для оценки распределений пределов выносливости сварных соединений испытывают 12—16 образцов. Результаты испытаний оформляются по п. 3.2.

3.4. Для оптимизации оценки дисперсии рекомендуется испытывать одинаковое количество образцов на четырех уровнях нагружения. В общем случае можно испытывать образцы всей серии на любых уровнях нагружения с долговечностью $5 \cdot 10^4$—$2 \cdot 10^6$

циклов. Однако оценка дисперсий, полученная по результатам испытаний образцов на четырех уровнях, будет иметь минимальную ошибку.

3.5. Уровни нагружения назначаются по известной кривой усталости или предварительно определенной по п. 3.2. При этом верхний σ_1 и нижний σ_4 уровни нагружения соответствуют долговечности $N_1=5\cdot10^4$ и $N_4=1{,}5\cdot10^6$ циклов. Промежуточные уровни нагружения σ_2 и σ_3 устанавливаются по выражениям

$$\begin{aligned}\sigma_2&=0{,}72\sigma_1+0{,}28\sigma_4;\\ \sigma_3&=0{,}28\sigma_1+0{,}72\sigma_4\end{aligned} \qquad (3.1)$$

Значения уровней нагружения округляются до 5 МПа.

3.6. Образцы исследуемой серии поровну распределяются между установленными уровнями нагружения и испытываются с регистрацией числа циклов по принятым критериям МОТ, ПРТ, ПРО. Для каждого критерия раздельно составляется протокол испытаний по ГОСТ 23026—78 и полученные данные сводятся в табл. 3.1.

3.7. При испытании образцов рекомендуется мягкое нагружение. На стадии распространения усталостных трещин допускается жесткий режим нагружения.

3.8. В пределах намеченной серии испытаний все образцы нагружают одним способом и испытывают на однотипных машинах.

3.9. Основными критериями разрушения (предельного состояния) при определении пределов выносливости и построении кривых усталости являются: момент образования макротрещины глубиной до 0,5 мм (МОТ); момент достижения макротрещиной (ПРТ) предельного размера (глубиной 2—3 мм, начиная с которой возможен переход усталостного разрушения сварных соединений в хрупкое при климатических температурах); полное разрушение образцов (ПРО).

3.10. Испытания проводят непрерывно до одного из принятых критериев разрушения или заданной базы. Допускается определять характеристики сопротивления усталости сварных соединений по двум или трем критериям разрушения на одном и том же образце. При этом необходимо обеспечить надежный контроль промежуточных предельных состояний образца — МОТ и ПРТ.

3.11. В процессе испытаний контроль нагружения осуществляется по силоизмерительным устройствам и периодически (при выводе на заданный режим нагружения, в момент образования трещины) по тензодатчикам. С помощью тензодатчиков должны определяться величина и характер распределения номинальных напряжений в исследуемых сечениях. На каждый образец должно наклеиваться не менее четырех тензодатчиков. Места наклейки тензодатчиков выбираются так (чаще не менее 10—30 мм от границы исследуемого соединения), чтобы на их показания в процессе измерения действующих напряжений не сказывалась концентрация рабочих напряжений, обусловленная формой сварного соединения.

3.12. При повторно-переменном растяжении-сжатии, чистом и консольном изгибе в одной плоскости, отклонения напряжений, обусловленные закреплением в захватах и депланацией образцов, не должны превышать при их измерении отдельными тензодатчиками 10 % от среднего значения напряжений в сечении наклейки тензодатчиков.

3.13. В процессе испытаний контролируют стабильность задаваемых нагрузок и периодически, согласно п. 3.11, напряжений.

3.14. Испытание серии однотипных образцов при асимметричных циклах рекомендуется проводить при постоянном коэффициенте асимметрии цикла. В отдельных случаях, обусловленных программой исследований, допускается проведение испытаний при одинаковых для всех образцов средних напряжениях цикла.

3.15. База испытаний назначается в зависимости от задач исследования. Абсолютные значения пределов выносливости сварных соединений должны определяться на базе не менее $5 \cdot 10^6$ циклов.

3.16. Частота циклов от 5 до 300 Гц не регламентируется, если испытания проводят в обычных атмосферных условиях. Во всех случаях частоту циклов указывают при представлении результатов испытаний. Сравнительные испытания рекомендуется проводить на одной частоте нагружения.

3.17. При пуске испытательной машины и в процессе испытаний заданная максимальная нагрузка не должна быть превышена, если это не предусматривается программой испытаний.

3.18. Нагружение образцов следует осуществлять плавно. В процессе испытаний рекомендуется периодически контролировать и осуществлять автоматическую запись параметров циклов нагружения.

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Кривые усталости сварных соединений аппроксимируют экспоненциальным уравнением вида

$$\sigma = \bar{\sigma}_R \exp \frac{A}{N+B} \qquad (4.1)$$

и строят, как правило, в полулогарифмических координатах (σ; lg N).

Параметры уравнения (4.1) вычисляют в зависимости от цели испытаний по формулам разд. 4 или 5.

4.2. При проведении испытаний с целью определения кривой усталости и экспериментального значения σ_R вначале устанавливается σ_R. Если заданную базу испытаний проходит один из двух образцов, то за предел выносливости принимается уровень нагружения, на котором испытывались данные образцы. В том случае, когда оба образца не разрушились, σ_R определяется как среднее значение уровня испытаний образцов и ближайшего к не-

му уровня, на котором наблюдалось разрушение хотя бы одного образца.

4.3. По данным табл. 3.1 и с учетом полученного по п. 4.2 значения σ_R вычисляются параметры A и B уравнения (4.1). При этом в расчет принимаются результаты испытаний только на тех уровнях нагружения, на которых наблюдается разрушение всех образцов (их должно быть не менее четырех). В данном случае результаты испытаний на уровнях, на которых хотя бы один образец прошел базу испытаний по принятому критерию разрушения, в расчет не принимаются

$$A=\frac{\sum\limits_{i=1}^{k}[\ln\sigma_i-\ln(0{,}9\sigma_R)]^2 n_i}{\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}\frac{[\ln\sigma_i-\ln(0{,}9\sigma_R)]}{(N_{ij}+B)}}. \qquad (4.2)$$

Параметр B является корнем уравнения

$$\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B_0}=\frac{n}{2}\;\frac{\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}\left(\frac{1}{N_{ij}+B_0}\right)^3-\times}{\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}\left\{\frac{1}{N_{ij}+B_0}-\right.}$$

$$-\frac{\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}\frac{[\ln\sigma_i-\ln(0{,}9\sigma_R)]}{(N_{ij}+B_0)}\sum\limits_{i=1}^{k}\ln\sigma_i-\ln(0{,}9\sigma_R)\sum\limits_{j=1}^{n_i}\left(\frac{1}{N_{ij}+B_0}\right)^2}{\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}[\ln\sigma_i-\ln(0{,}9\sigma_R)]^2 n_i}\times$$

$$\times\frac{}{\left.-\frac{[\ln\sigma_i-\ln(0{,}9\sigma_R)]\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}\frac{[\ln\sigma_i-\ln(0{,}9\sigma_R)]}{(N_{ij}+B_0)}}{\sum\limits_{i=1}^{k}[\ln\sigma_i-\ln(0{,}9\sigma_R)]^2 n_i}\right\}^2}. \qquad (4.3)$$

Алгоритм оценки параметра B приведен в п. 5.7.

4.4. Программа оценки параметров A и B с учетом экспериментального установленного значения σ_R дана в приложении 3.

4.5. При проведении испытаний с целью оценки распределений пределов выносливости ($\overline{\sigma_R}$, S_{σ_R}) результаты обрабатываются в последовательности, изложенной в разд. 5. При этом результаты испытаний с целью построения кривой усталости используются в соответствии с указанием п. 2.

4.6. Экспериментально установленные по п. 4.2 значения можно принимать как соответствующие 50 %-ной вероятности разрушения с точностью ±10 МПа.

4.7. Погрешность оценки распределений пределов выносливости следует принимать ±10 %, если параметры A, B, $\overline{\sigma_R}$, и S_{σ_R} определялись не менее, чем по шестнадцати образцам. В противном случае, т. е. если они устанавливались по результатам 12—15 образцов, погрешность составляет ±15 %.

5. ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРЕДЕЛОВ ВЫНОСЛИВОСТИ

5.1. Метод расчетно-экспериментальной оценки распределения характеристик сопротивления усталости сварных соединений включает предварительную оценку средней кривой усталости образцов исследуемой серии по п. 3.2., получение статистических данных по результатам их испытания, оценку параметров A, B, $\overline{\sigma}_R$ и S_{σ_R} уравнения кривой усталости (4.1) и распределений пределов выносливости, а также назначение расчетных сопротивлений усталости $R_R(p, \gamma)$ исследуемых сварных соединений по параметру вероятности разрушения элементов металлоконструкций. Метод реализуется в следующей последовательности.

5.2. Проводят испытания по пп. 3.3—3.6.

5.3. В качестве исходных данных для оценки распределений пределов выносливости и определения уравнений кривой усталости используются результаты испытаний по п. 5.2 и п. 3.2 в соответствии с указаниями п. 4.3.

5.4. Параметры уравнения (4.1) и распределений пределов выносливости определяются по формулам (5.1)—(5.5)

$$\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B}=\frac{1}{2I_2(B)}\left\{\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\left(\frac{1}{N_{ij}+B}\right)^3-\right.$$

$$-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\left(\frac{1}{N_{ij}+B}\right)^2\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B}-\frac{1}{I_1(B)}\left[\sum_{i=1}^{k}\left(\ln\sigma_i\sum_{j=1}^{n_i}\left(\frac{1}{N_{ij}+B}\right)^2\right)-\right.$$

$$\left.\left.-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}n_i\ln\sigma_i\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\left(\frac{1}{N_{ij}+B}\right)^2\right]\right\}, \qquad (5.1)$$

где

$$I_1(B)=\frac{n\sum\limits_{i=1}^{k}n_i(\ln\sigma_i)^2-\left(\sum\limits_{i=1}^{k}n_i\ln\sigma_i\right)^2}{n\sum\limits_{i=1}^{k}\left(\ln\sigma_i\sum\limits_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B}\right)-\sum\limits_{i=1}^{k}n_i\ln\sigma_i\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B}}. \qquad (5.1а)$$

$$I_2(B)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\left(\frac{1}{N_{ij}+B}\right)^2-\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B}\right)^2-$$

$$-\frac{1}{[I_1(B)]^2}\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}n_i(\ln\sigma_i)^2-\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}n_i\ln\sigma_i\right)^2\right]. \qquad (5.1б)$$

$$A=I_1(B_0)=\frac{n\sum\limits_{i=1}^{k}n_i(\ln\sigma_i)^2-\left(\sum\limits_{i=1}^{k}n_i\ln\sigma_i\right)^2}{n\sum\limits_{i=1}^{k}\left(\ln\sigma_i\sum\limits_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B_0}\right)-\sum\limits_{i=1}^{k}n_i\ln\sigma_i\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B_0}}. \qquad (5.2)$$

$$\overline{\ln\sigma_R}=\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{k}n_i\ln\sigma_i-A\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B_0}\right). \qquad (5.3)$$

$$S_{\ln\sigma_R}=\frac{n\sum\limits_{i=1}^{k}n_i(\ln\sigma_i)^2-\left(\sum\limits_{i=1}^{k}n_i\ln\sigma_i\right)^2}{n\sum\limits_{i=1}^{k}\left(\ln\sigma_i\sum\limits_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B_0}\right)-\sum\limits_{i=1}^{k}n_i\ln\sigma_i\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B_0}}\times$$

$$\times\left\{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\left(\frac{1}{N_{ij}+B_0}\right)^2-\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B_0}\right)^2-\right.$$

$$\left.-\frac{1}{A^2}\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}n_i(\ln\sigma_i)^2-\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}n_i\ln\sigma_i\right)^2\right]\right\}^{\frac{1}{2}}. \qquad (5.4)$$

Таким образом, значения параметров A, $\overline{\ln\sigma_R}$, $S_{\ln\sigma_R}$ определяются в зависимости от параметра B_0, а его значение — по п. 5.7.

5.5. Значения $\bar{\sigma}_R$ и S_{σ_R} вычисляются по формулам

$$\bar{\sigma}_R=\exp\left[\overline{\ln\sigma_R}+\frac{S^2_{\ln\sigma_R}}{2}\right]. \qquad (5.5)$$

$$S_{\sigma_R}=\{\bar{\sigma}^2_R[(\exp S^2_{\ln\sigma_R}-1)]\exp S^2_{\ln\sigma_R}\}^{1/2}. \qquad (5.6)$$

5.6. Расчетное сопротивление усталости сварных соединений определяется в зависимости от принятой вероятности разрушения элементов конструкции p и уровня доверия γ, как оценка нижнего толерантного предела

$$R_R(p,\gamma)=\bar{\sigma}_R-k_{p\gamma}S_{\sigma_R}, \qquad (5.7)$$

где

$$k_{p,\gamma}=-\frac{1}{\sqrt{n}}t(n-1;-Z_p\sqrt{n};\,1-\gamma) \qquad (5.8)$$

Значение $t(n-1;\ -Z_p\sqrt{n};\ 1-\gamma)$ определяется по таблицам нецентрального распределения t. Рекомендуемые значения $k_{p,\gamma}$ приведены в табл. 4 приложения 1.

5.7. Оценочные значения параметра B_0 устанавливаются методом последовательных приближений как корень уравнения (4.2) или (5.1). Данные табл. 3.1 являются исходными. По ним при каждом приближении по B формируется новый массив переменных $y_{ij}=\frac{1}{N_{ij}+B}$, характеризующий долговечность j-го образца на i-м уровне нагружения. При этом для каждого j-го образца значение переменной $x_i=\ln\sigma_i$ остается постоянным. Последовательно увеличивая B от нуля с шагом $L_1=10^5$, $L_2=10^4$ и $L_3=10^3$, вычисляются правая и левая части выражения (4.2) или (5.1) пока выполняется неравенство

$$Л<П. \qquad (5.9)$$

Как только неравенство (5.9) нарушается при $B=KL_1$, приближение с шагом L_2 начинается от $B=(K-1)L_1$. Соответственно, если нарушается неравенство (5.9) при изменении B с шагом L_2,

Схема обработки экспериментальных данных при $B=B_l$

Таблица 5.1

Число образцов	Максимальные значения номинальных напряжений σ_i, МПа	$x_i=\ln\sigma_i$	$y_{ij}=\frac{1}{N_{ij}+B}$	$x_i y_{ij}$	x_i^2	y_{ij}^2	y_{ij}^3	$x_i y_{ij}^2$
1 2 3 ⋮ n_1	σ_1	x_1	y_{11} ⋮ y_{ij} ⋮ y_{1n_1}	x_1y_{11} ⋮ x_1y_{1j} ⋮ $x_1y_{1n_1}$	x	y ⋮ y_{1j}^2 ⋮ y_{1n_1}	y_{11}^3 ⋮ y_{1j}^3 ⋮ y_{1n_1}	$x_1y_{11}^2$ ⋮ $x_1y_{1j}^2$ ⋮ $x_1y_{1n_1}^2$
1 2 3 ⋮ n_2	σ_2	x_2	y_{21} ⋮ y_{2j} ⋮ y_{2n_2}	x_2y_{21} ⋮ x_2y_{2j} ⋮ $x_2y_{n_2}$	x_2	y_{21}^2 ⋮ y_{2j}^2 ⋮ $y_{2n_2}^2$	y_{21}^3 ⋮ y_{2j}^3 ⋮ y_{2n_2}	$x_2y_{21}^2$ ⋮ $x_2y_{2j}^2$ ⋮ $x_2y_{2n_2}^2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1 2 3 ⋮ n_i	σ_i	x_i	y_{i1} ⋮ y_{ij} ⋮ y_{in_j}	x_iy_{i1} ⋮ x_iy_{ij} ⋮ $x_iy_{in_i}$	x_i^2	y_{i1}^2 ⋮ y_{ij}^2 ⋮ y_{in_j}	y_{i1}^3 ⋮ y_{ij}^3 ⋮ y_{in_j}	$x_iy_{i1}^2$ ⋮ $x_iy_{ij}^2$ ⋮ $x_iy_{in_j}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1 2 3 ⋮ n_k	σ_k	x_k	y_{k1} ⋮ y_{kj} ⋮ y_{kn_k}	x_ky_{k1} ⋮ x_ky_{kj} ⋮ $x_ky_{n_k}$	x_k^2	y_{k1}^2 ⋮ y_{kj}^2 ⋮ $y_{kn_k}^2$	y_{k1}^3 ⋮ y_{kj}^3 ⋮ $y_{kn_k}^3$	$x_ky_{k1}^2$ ⋮ $x_ky_{kj}^2$ ⋮ $x_ky_{kn_k}^2$
$n=\sum\limits_{i=1}^{k} n_i$		$\sum\limits_{i=1}^{k} n_i\ln\sigma_i$	$\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B}$	$\sum\limits_{i=1}^{k}x_i\sum\limits_{j=1}^{n_i}\frac{1}{N_{ij}+B}$	$\sum\limits_{i=1}^{k} n_ix_i^2$	$\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}\left(\frac{1}{N_{ij}+B}\right)$	$\sum\limits_{i=1}^{k}\sum\limits_{j=1}^{n_i}\left(\frac{1}{N_{ij}+B}\right)$	$\sum\limits_{i=1}^{k}x_i\left(\sum\limits_{j=1}^{n_i}\left(\frac{1}{N_{ij}+B}\right)^2\right)$

последующее приближение начинается от значения предшествующего этому событию. В качестве критерия при оценке B принято условие $(Л—П)<\varepsilon$. При этом значением ε не задаются. Однако как только нарушается условие (5.9) при L_3 сравнивают ε на последнем и предпоследнем шаге. За оценочное значение $B=B_0$ принимается то, при котором ε меньше. Затем по формулам (5.2), (5.4)—(5.6) вычисляются значения параметров A, $\overline{\sigma_R}$, Sln_{σ_R}, S_{σ_R} при $B=B_0$. Значение параметра A рекомендуется устанавливать, так же как и B, с точностью до 10^3.

5.8. Схема обработки экспериментальных данных при $B=B_e$ представлена в табл. 5.1. В приложении 1 рассмотрен пример.

6. ХАРАКТЕРИСТИКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРЕДЕЛЬНЫМИ ОСТАТОЧНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ

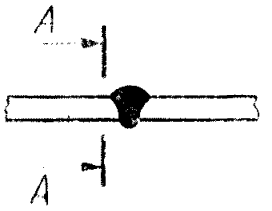
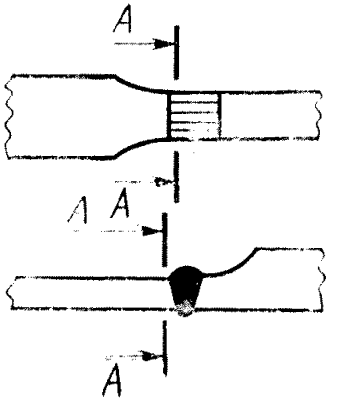
6.1. Наиболее распространенные сварные соединения и узлы металлоконструкций целесообразно разделить по сопротивляемости усталостным разрушениям на пять групп (см. табл. 6.1). Пределы выносливости (вероятность разрушения $P=0{,}5$) необработанных после сварки качественных (бездефектных) соединений низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей по предельному состоянию ПРТ в зависимости от группы элемента, среднего напряжения цикла, класса прочности стали и расчетного числа циклов рекомендуется определять по диаграммам предельных напряжений цикла, приведенным на рис. (10—14).

6.2. Под действием остаточных напряжений амплитуды предельных напряжений цикла σ_a (на базе 2—5 млн. циклов и более) необработанных сварных соединений становятся независимыми от среднего напряжения цикла. Исходя из этого, при $N\geqslant 2$—5 млн. циклов амплитуды предельных напряжений цикла для соответствующих групп элемента могут приниматься без учета влияния асимметрии цикла по рис. 11.

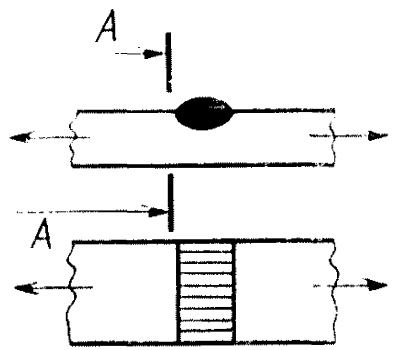
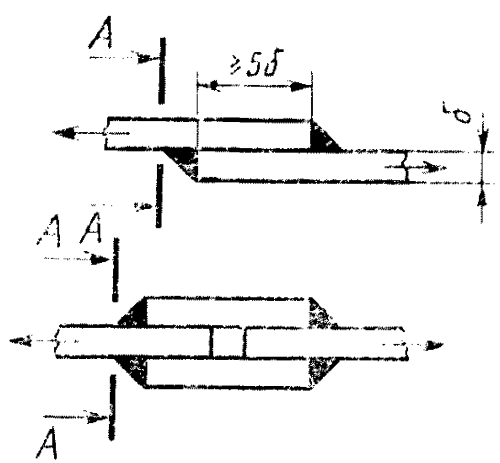
6.3. Для повышения сопротивления усталости сварных соединений рекомендуется применять дополнительные упрочняющие обработки, основанные на уменьшении концентрации рабочих напряжений или на перераспределении остаточных напряжений в зонах концентраторов. К первой группе мер относятся механическая зачистка швов и аргонодуговая обработка; ко второй — термообработка (высокий отпуск), предварительная статическая перегрузка, поверхностный наклеп, точечный и местный нагрев, точечное и линейное пластическое обжатие, локальная взрывная и ультразвуковая ударная обработки. Данные об эффективности указанных способов упрочнения сварных соединений приведены в табл. 6.3. Выбор отдельных видов обработки должен осуществляться с учетом их эффективности в зависимости от типа соединения или прикрепления, технологичности и трудоемкости выполнения в условиях изготовления, монтажа или эксплуатации конструкций.

Таблица 6.1

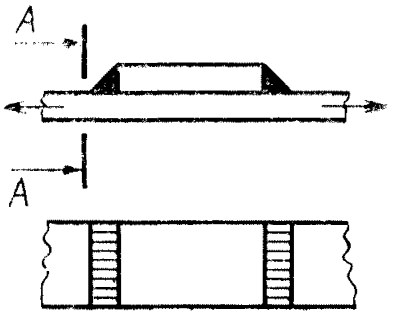
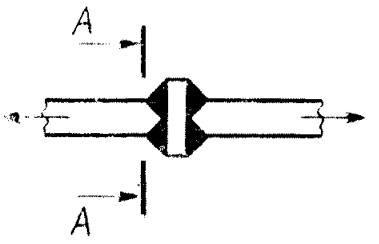
Группы элементов и соединений

Схема элемента и расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	Основной металл в месте перехода к необработанному стыковому шву с усилением, имеющим достаточно плавный переход: при стыковании листов одинаковой толщины и ширины	1
	при стыковании листов разной ширины или разной толщины с плавным переходом	1

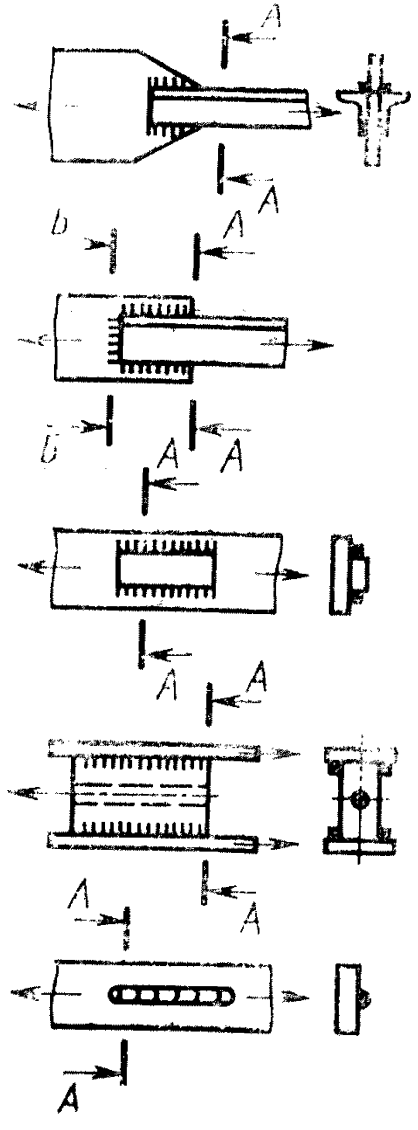
Продолжение

Схема элемента и расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	наплавленного на основной металл (без обработки)	1
	Основной металл в месте перехода к поперечному (лобовому) угловому шву: при передаче усилия через швы без механической обработки при отношении катетов $b/h=1$	 4

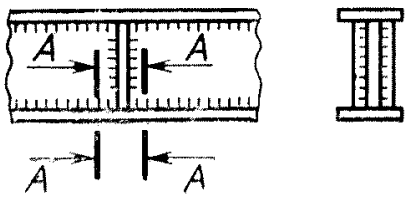
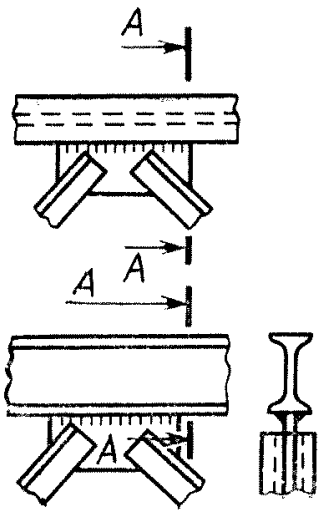
Продолжение

Схема элемента и расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	без механической обработки при передаче усилия через основной металл	3
	Основной металл в соединениях с фланцами при плавном переходе шва к основному металлу (тавровое соединение) с полным проваром присоединения	3

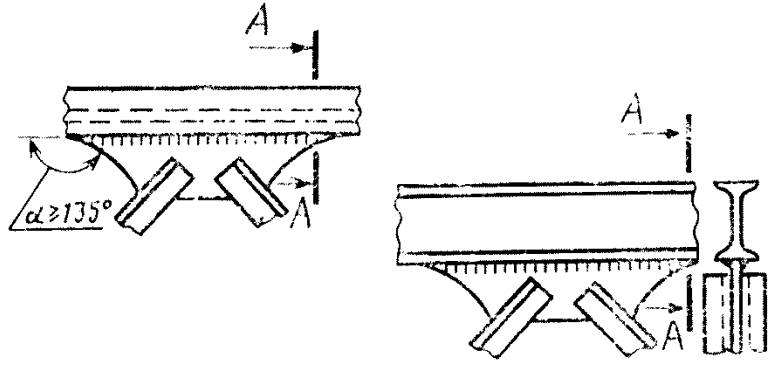
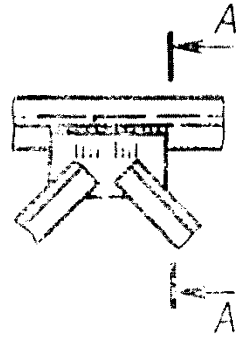
Продолжение

Схема элемента расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	Основной металл в необработанных соединениях с фланговыми швами, работающими на срез от осевой силы, в местах перехода от элемента к концам фланговых швов:	
	с двумя фланговыми швами	5
	с фланговыми и лобовыми швами по сечению:	
	А—А	5
	Б—Б	4
	при передаче усилия через основной металл	5
	щеки анкеров для крепления стальных канатов	5
	у флангового шва, наплавленного на основной металл	5

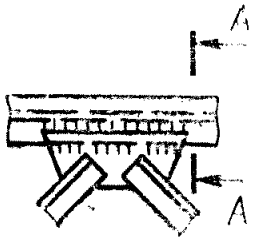
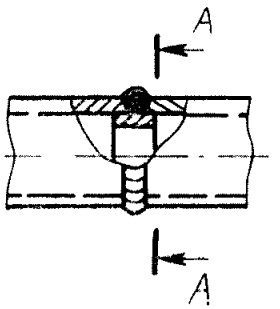
Продолжение

Схема элемента и расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	Основной металл вблизи диафрагм и ребер, приваренных угловыми швами к поясам балок и элементам ферм: без механической обработки швов, но при наличии плавного перехода от швов к металлу при ручной и полуавтоматической сварке	3
	Фасонки прямоугольной формы, привариваемые в стык или в тавр к элементам конструкции без механической обработки перехода от фасонки к элементу	5

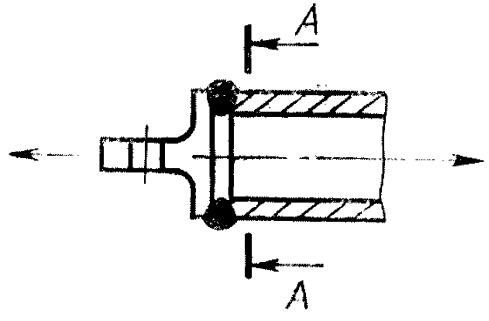
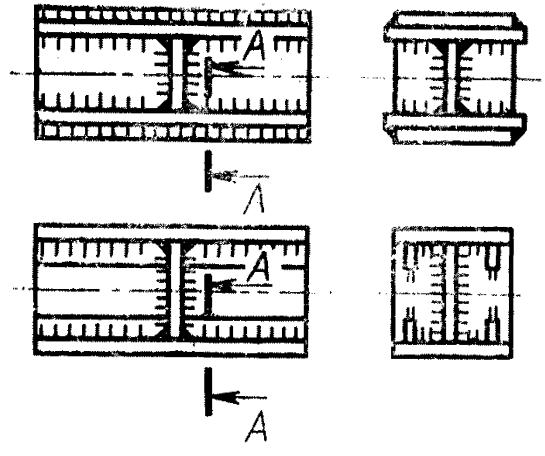
Продолжение

Схема элемента и расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	Фасонки трапециевидной формы, привариваемые в стык или в тавр к стенкам и поясам, а также к элементам ферм, при полном проваре на всю толщину фасонки	2
	Фасонки прямоугольной и трапециевидной формы, привариваемые к поясам балок внахлестку с обваркой по контуру нахлестки: без механической обработки зон концентрации напряжений	2

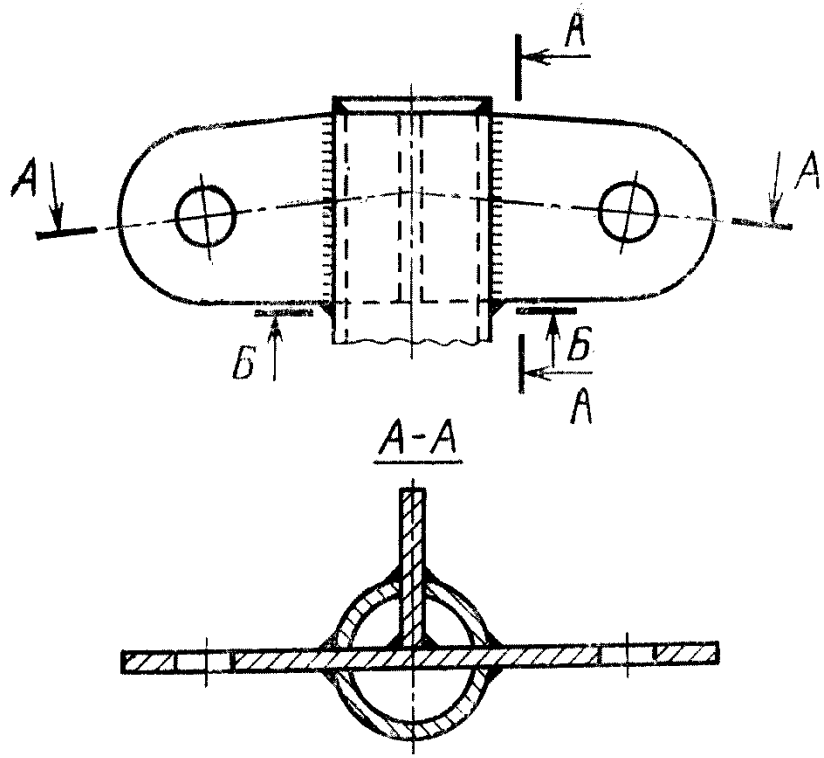
Продолжение

Схема элемента и расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	Фасонки трапециевидной формы, привариваемые двумя фланговыми и двумя косыми швами	4
	Основной металл трубы у сварного шва, выполненного на подкладном кольце	5

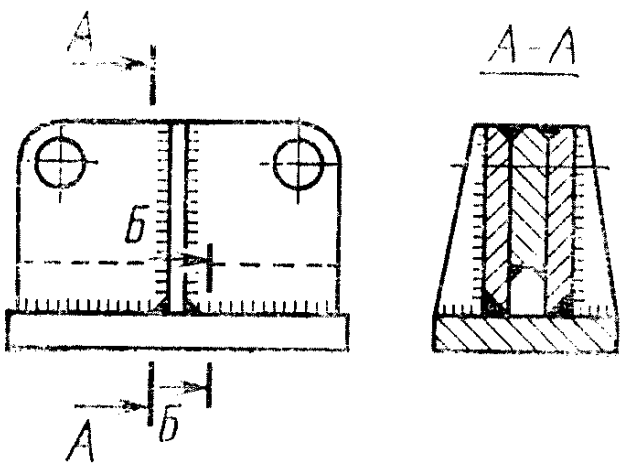
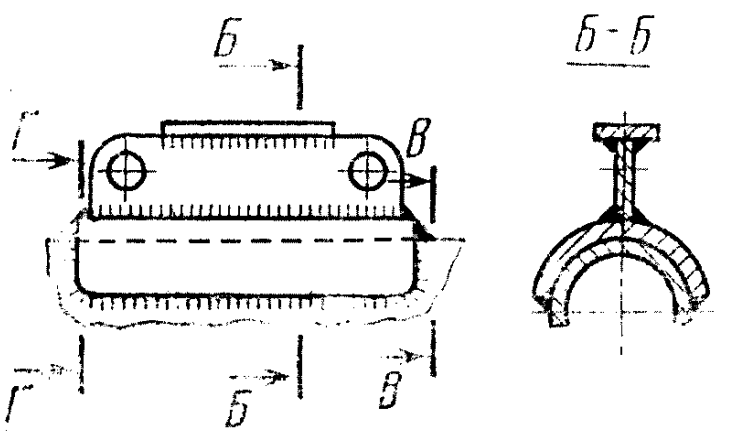
Продолжение

Схема элемента и расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	Основной металл трубы в зоне приварки фланца	5
	Основной металл вблизи диафрагм и ребер, приваренных угловыми швами к поясам балок и элементам ферм без механической обработки швов при ручной и полуавтоматической сварке	3

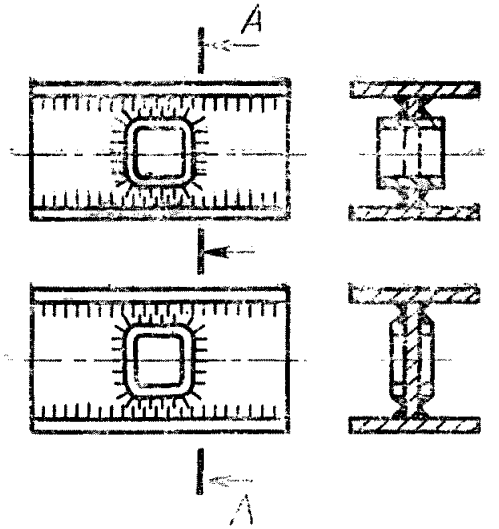
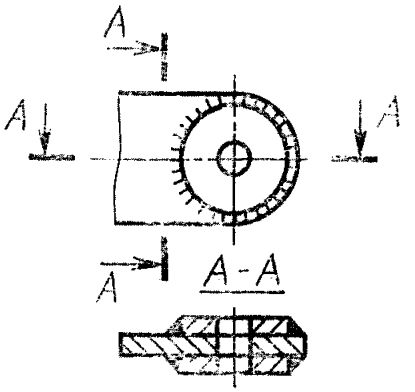
Продолжение

Схема элемента и расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	Основной металл фасонки вблизи сварных швов (сеч. *А—А*) без механической обработки при ручной и полуавтоматической сварке	3
	Основной металл трубы вблизи сварных швов (сеч. *Б—Б*) без механической обработки	5

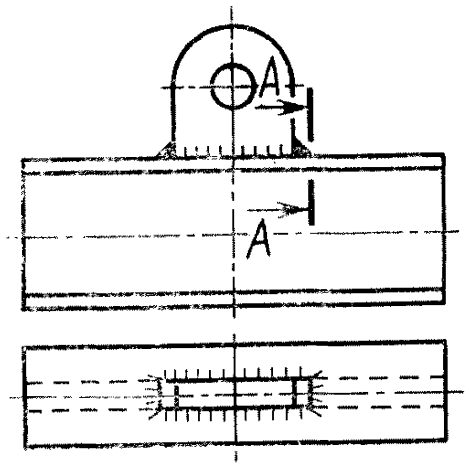
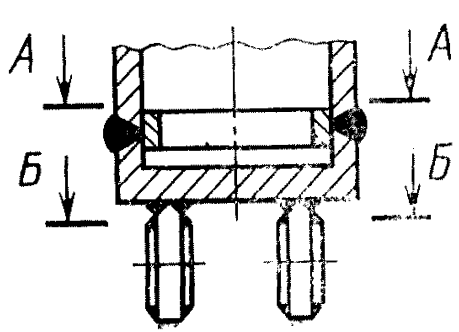
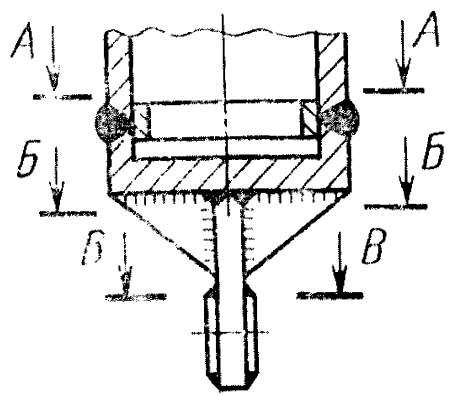
Продолжение

Схема элемента и расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	Основной металл вблизи сварных швов без механической обработки при ручной и полуавтоматической сварке по сечению: *А—А;* *Б—Б*	 3 5
		

Продолжение

Схема элемента и расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	Основной металл вблизи сварных швов без механической обработки при ручной и полуавтоматической сварке	3
	Основной металл вблизи сварных швов без механической обработки при ручной и полуавтоматической сварке	3

Продолжение

Схема элемента и расположение расчетного сечения	Характеристика элемента	Группа элемента
	Основной металл вблизи сварных швов	5
	Основной металл вблизи сварных швов по сечению: *А—А;* *Б—Б;* *В—В*	 5 3 5
		

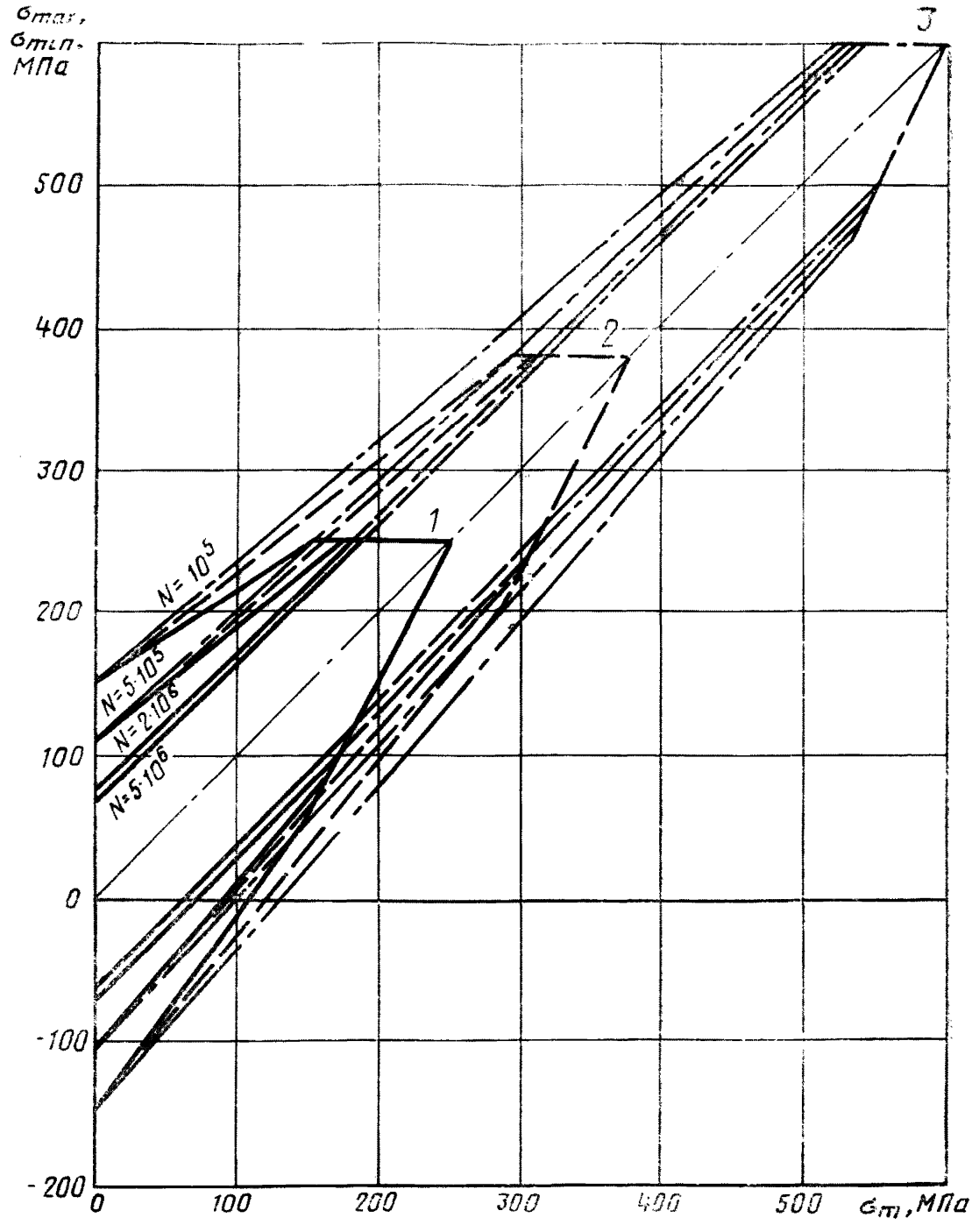


Рис. 10. Диаграммы предельных напряжений цикла сварных соединений (группа элемента — *1*) низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей для различных чисел циклов:

1—3—предельные статические напряжения соответственно низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей

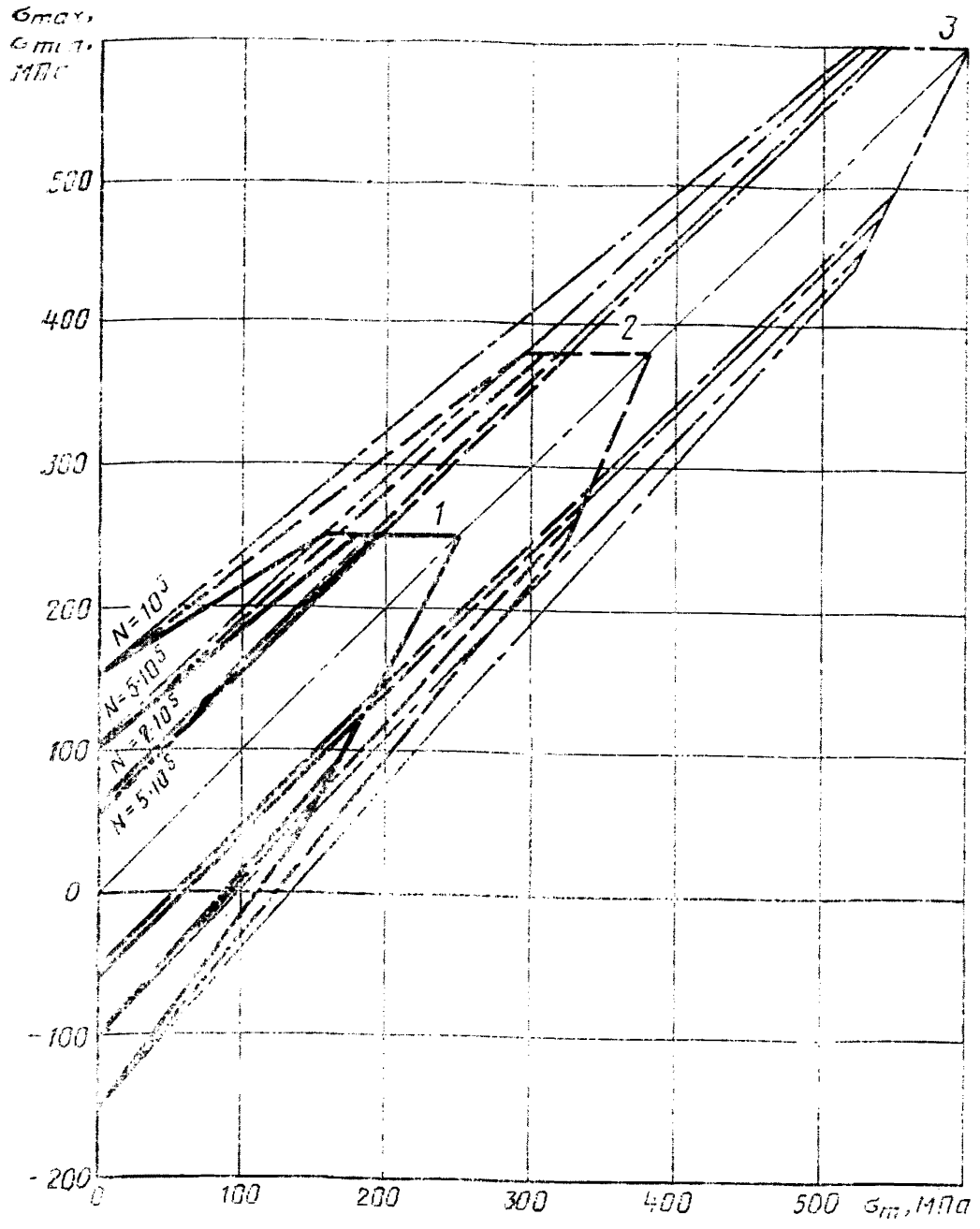


Рис. 11. Диаграммы предельных напряжений цикла сварных соединений (группа элемента — 2) низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей для различных чисел циклов:

1—3—предельные статические напряжения соответственно низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей

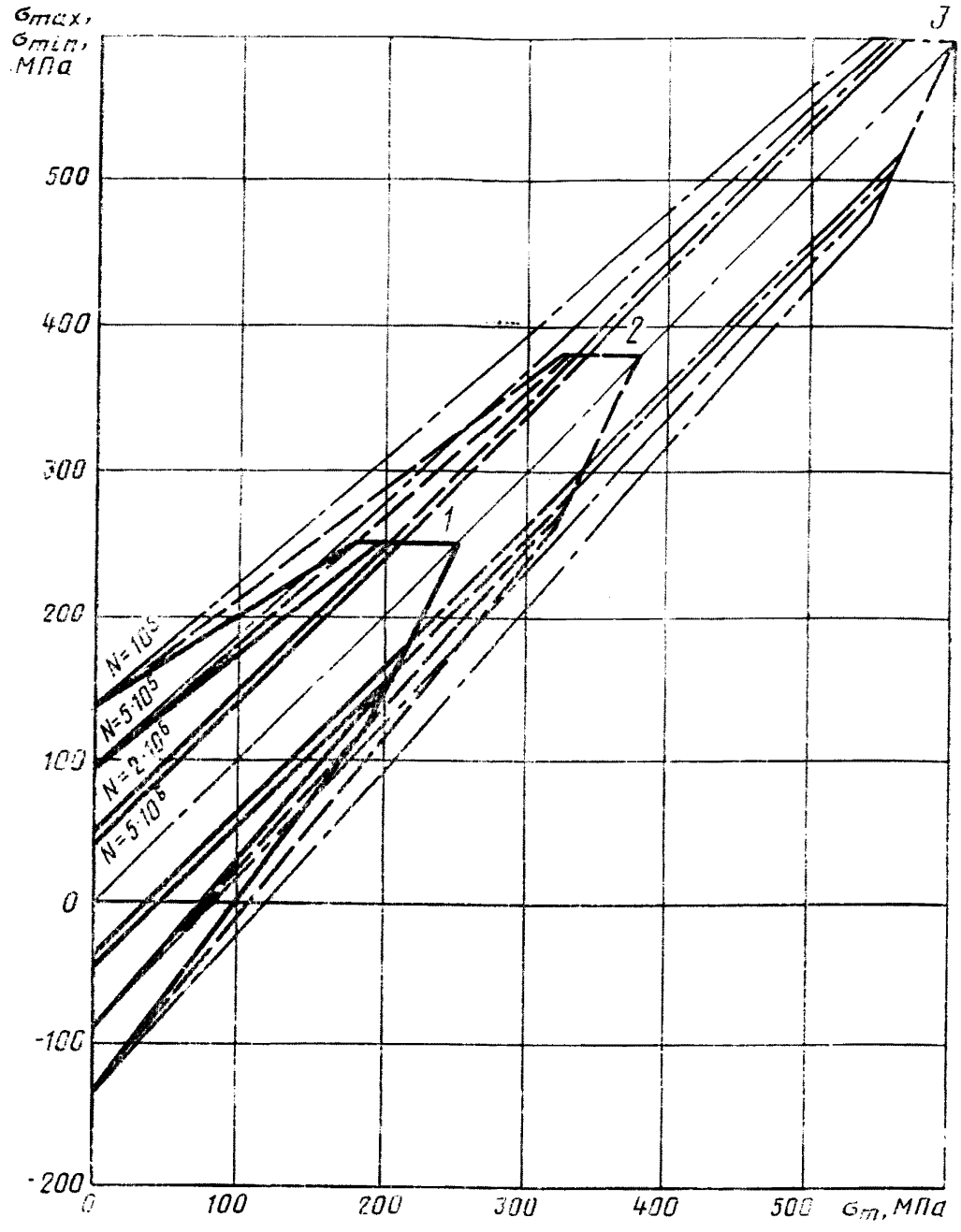


Рис. 12. Диаграммы предельных напряжений цикла сварных соединений (группа элемента — *3*) низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей для различных чисел циклов:

1—3—предельные статические напряжения соответственно низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей

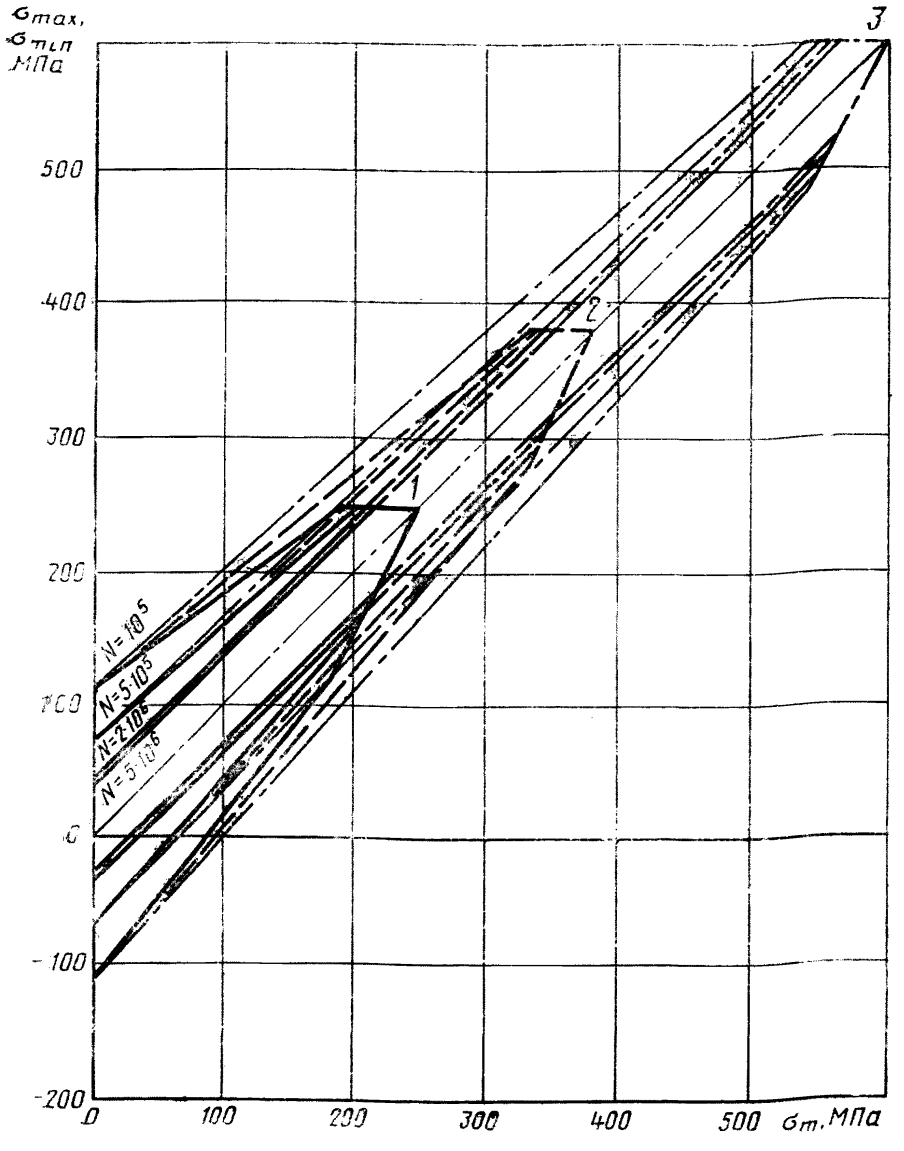


Рис. 13. Диаграммы предельных напряжений цикла сварных соединений (группа элемента — 4) низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей для различных чисел циклов:

1—3—предельные статические напряжения соответственно низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей

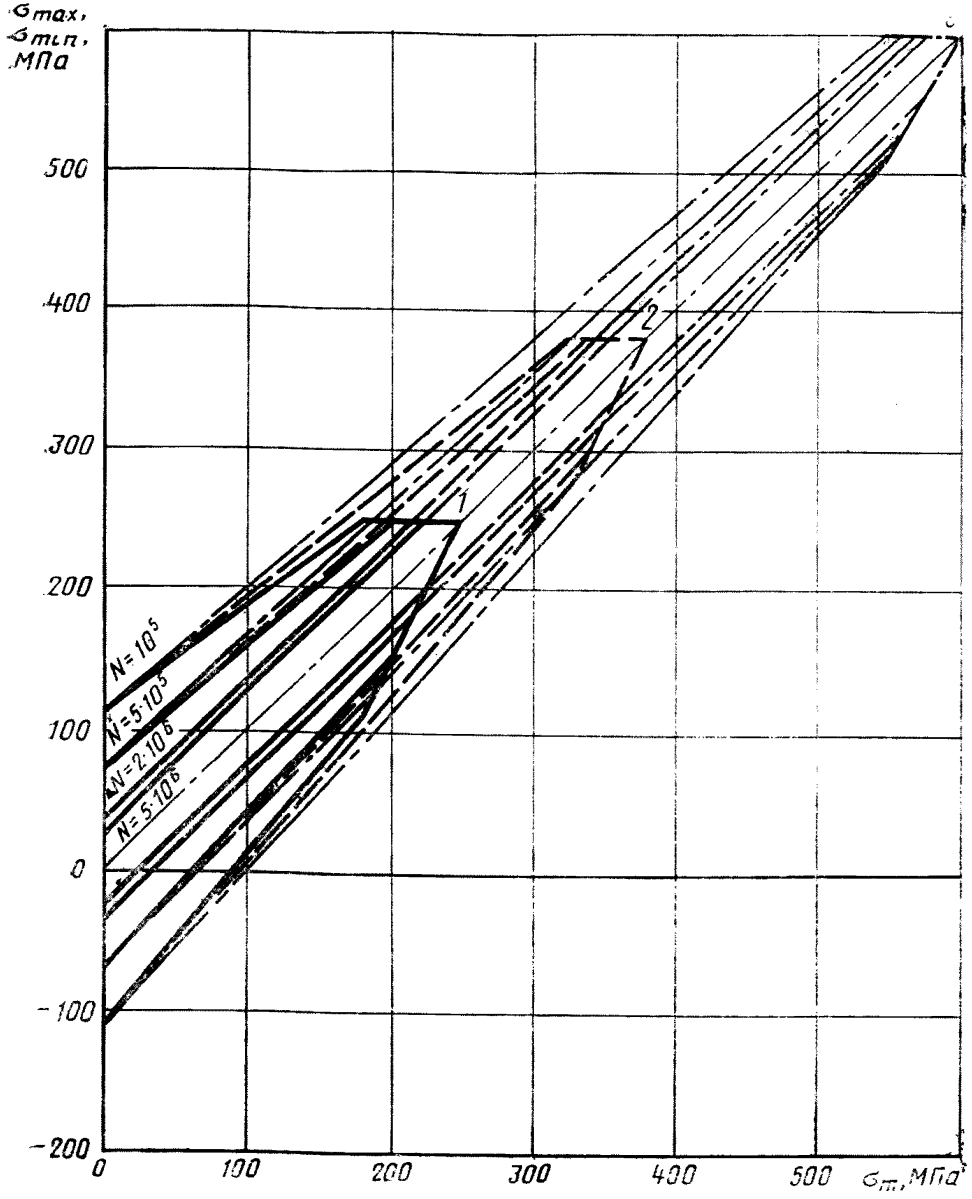


Рис. 14. Диаграммы предельных напряжений цикла сварных соединений (группа элемента — *5*) низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей для различных чисел циклов:

1—3—предельные статические напряжения соответственно низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей

Таблица 6.2

Аплитуды предельных напряжений цикла необработанных сварных соединений низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей (для асимметрий цикла R_σ от −1 до +1)

Номер	Группа элемента	Амплитуда предельных напряжений цикла σ_a, МПа	
		при N=2 млн. циклов	при N=5 млн. циклов
1	1	74,0	69,0
2	2	57,5	55,0
3	3	42,5	40,0
4	4	37,5	35,0
5	5	26,0	23,0

Таблица 6.3

Повышение пределов выносливости (в %) сварных соединений низкоуглеродистых и низколегированных сталей после различных видов обработки (расчетное число циклов $N=2\cdot10^6$)

Обработка	Соединения			Прикрепление конструктивных и связующих элементов
	стыковые	с лобовыми швами	с фланговыми швами	
Механическая зачистка швов	60—90 20—95	20 5—25	— 0—10	— 0—30
Аргонодуговая обработка швов	35—90 35—280	— 30	— —	60—80 10—20
Высокий отпуск	30—70 0	— 0	30 0	90—260 60
Предварительная статическая перегрузка	50 —	— —	— 45	— 40
Поверхностный наклеп пневмомолотком, многобойковым устройством и т. п.	80—105 35—55	40—100 60	20—40 25	255 25—75
Точечный и местный нагрев	—	—	— 80—105	65 45—200
Точечное и линейное пластическое обжатие	40 30	—	— 70—90	110 —
Взрывная обработка	20—50 —	—	—	75—120 45—125
Ультразвуковая ударная обработка	85 40—60	—	—	— 120

Примечание. Приведенные данные в числителе относятся к повышению пределов выносливости при $R_\sigma=-1{,}0$; в знаменателе — при $R_\sigma=0{,}0$. Значения пределов выносливости (σ_R), определяемые с учетом упрочняющей обработки соединений, не должны превышать предел текучести (σ_T) стали соответствующего класса прочности.

7. ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

σ — расчетная величина максимальных значений номинальных напряжений, МПа;

$\overline{\sigma_R}$ — среднее значение предела выносливости сварных соединений при коэффициенте асимметрии R_σ, МПа;

σ_i — максимальные значения номинальных напряжений, МПа;

$S^2_{\ln\sigma_R}$ — дисперсия логарифма предела выносливости сварных соединений, МПа;

$S_{\ln\sigma_R}$ — среднее квадратическое отклонение логарифма предела выносливости, МПа;

$S^2_{y_{ij}}$ — дисперсия преобразованных величин N_{ij} вида

$$y_{ij} = \frac{10^6}{N_{ij}+B}$$

$R_R(p, \gamma)$ — расчетное сопротивление усталости сварных соединений, МПа;

N_{ij} — циклическая долговечность j-го образца на уровне нагружения σ_i (циклов);

n_i — количество разрушенных образцов на σ_i уровне нагружения;

$n=\sum_{i=1}^{k} n_i$ — общее количество испытанных образцов в области ограниченных долговечностей $5\cdot10^4$—$2\cdot10^6$ циклов;

A, B — параметры уравнения кривой усталости (4.1);

P — вероятность разрушения сварных образцов, %;

Z_p — квантиль нормального распределения величины $x=\ln\sigma$;

МОТ — критерий разрушения образцов, соответствующий моменту образования макротрещины (глубиной до 0,5 мм);

ПРТ — критерий разрушения образцов, соответствующий моменту предельного размера трещины (глубиной 2—3 мм начиная с которой возможен переход усталостного разрушения в хрупкое при климатических температурах);

ПРО — критерий разрушения образцов, соответствующий полному их разрушению;

$I_1(B)$ — текущее значение параметра $A(B)$ уравнения (4.1), определяемое методом последовательных приближений при решении уравнения (5.1);

$I_2(B)$ — текущее значение дисперсии $S^2_{y_{ij}}$;

γ — уровень доверия;

$k_{p,\gamma}$ — коэффициент, зависящий от заданной вероятности P и уровня доверия γ;

t — критическое значение нецентрального распределения t.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗНАЧЕНИЙ $\overline{\sigma}_R$, S_{σ_R}, $R_R(p, \gamma)$ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЯ 16 СВАРНЫХ ОБРАЗЦОВ С ПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ ШВАМИ.

Результаты испытаний получены на четырех уровнях нагружения $\sigma_1=160$ МПа; $\sigma_2=140$ МПа; $\sigma_3=120$ МПа и $\sigma_4=100$ МПа. На каждом из них испытывалось по четыре образца. На уровне нагружения 160 МПа циклическая долговечность образцов равна $N_{11}=60000$; $N_{12}=64000$; $N_{13}=68000$; $N_{14}=79000$ циклов. Результаты испытаний обобщены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальные значения номинальных напряжений σ_i, МПа	Циклическая долговечность образцов циклов			
160	60000	64000	68000	79000
140	120000	130000	160000	190000
120	230000	250000	270000	450000
100	830000	950000	1050000	1280000

Вначале выбирается $B_1=10^5$ и вычисляются значения

$$y_{ij}=\frac{10^6}{N_{ij}+B_1}$$

(y_{ij} увеличены в 10^6 раз, чтобы не оперировать с малыми числами). Для уровня нагружения 160 МПа они запишутся

$$y_{11}=\frac{10^6}{60000+10000}\;;\qquad y_{12}=\frac{10^6}{64000+100000}\;;$$

$$y_{13}=\frac{10^6}{68000+100000}\;;\qquad y_{14}=\frac{10^6}{79000+100000}$$

В результате по схеме, представленной в п. 5.7, для $B_1=10^5$ формируется табл. 2. Соответствующие суммы по столбцам табл. 2 подставляются в уравнения (5.1, а), (5.1, б) и вычисляются значения $I_1(B_1=10^5)$, $I_2(B_2=10^5)$.

$$I_1(B_1=10^5)=\frac{16\cdot 377{,}2208-77{,}6380^2}{16\cdot 267{,}7310-77{,}6380\cdot 54{,}1044}=0{,}0947,$$

$$I_2(B_2=10^5)=\frac{1}{16}\cdot 240{,}4326-\left(\frac{1}{16}\cdot 54{,}1044\right)^2-\frac{1}{0{,}0947^2}\left(\frac{1}{16}\cdot 377{,}2208-\right.$$

$$\left.-\left(\frac{1}{16}\cdot 77{,}6380\right)^2\right)=0{,}1627.$$

Значения I_1 ($B_1=10^5$) и $I_2(B_2=10^5)$ подставляются в выражение (5.1) и подсчитываются значения его правой и левой частей.

$$54{,}1044\neq\frac{1}{2\cdot 0{,}1627}\left[1210{,}1533-\frac{1}{16}\cdot 54{,}1044\cdot 240{,}4326-\right.$$

$$\left.-\frac{1}{0{,}0947}\cdot\left(1201{,}7764-\frac{1}{16}\cdot 77{,}6380\cdot 240{,}4326\right)\right],\ \text{т. е.}$$

$$54{,}1044\neq 81{,}6691.$$

Таблица 2

Схема обработки исходных экспериментальных данных для $B_1 = 100000$

Число испытанных образцов	Максимальные значения номинальных напряжений σ_i, МПа	$x_i = \ln \sigma_i$	$y_{ij} = \frac{10^6}{N_{ij}+B}$	$x_i y_{ij}$
1	160	5,0752	6,2500	31,7198
2		5,0752	6,0976	30,9462
3		5,0752	5,9524	30,2094
4		5,0752	5,5866	28,3529
5	140	4,9416	4,6455	22,4620
6		4,9416	4,3478	21 4854
7		4,9416	3,8462	19,0063
8		4,9416	3,4483	17,0401
9	120	4,7875	3,0303	14,5076
10		4,7875	2,8571	13,6785
11		4,7875	2,7027	12,9392
12		4,7875	1,8182	8,7045
13	100	4,6052	1,0753	4,9518
14		4,6052	0,9524	4,3859
15		4,6052	0,8696	4,0045
16		4,6052	0,7246	3,3371
$n = \sum_{i=1}^{k} n_i$		$\sum_{i=1}^{k} n_i \ln \sigma_i$	$\sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{10^6}{N_{ij}+B_0}$	$\sum_{i=1}^{k} \ln\sigma_i \sum_{j=1}^{n_i} \frac{10^6}{N_{ij}+B}$
16		77,6380	54,1044	267,7310

Продолжение табл. 2

Число испытанных образцов	x_i^2	y_{ij}^2	y_{ij}^3	$x_i y_{ij}^2$
1	25,7574	39,0625	244,1406	198,2489
2	25,7574	37,1802	226,7088	188,6961
3	25,7574	35,1308	210,8977	179,8275
4	25,7574	31,2100	174,3576	158,3962
5	24,4198	20,6611	93,9143	102,1000
6	24,4198	18,9036	82,1895	93,4147
7	24,4198	14,7929	56,8957	73,1012
8	24,4198	11,8906	41,0021	58,7591
9	22,9201	9,1827	27,8265	43,9623
10	22,9201	8,1633	23,3236	39,0815
11	22,9201	7,3046	19,7422	34,9707
12	22,9201	3,3058	6,0105	15,8264
13	21,2076	1,1562	1,2432	5,3245
14	21,2076	0,9070	0,8638	4,1770
15	21,2076	0,7561	0,6575	3,4822
16	21,2076	0,5251	0,3805	2,4182
$n=\sum_{i=1}^{k} n_i$	$\sum_{i=1}^{k} n_i (\ln \sigma_i)^2$	$\sum_{i=1}^{k}\sum_{i=1}^{k}\left(\frac{10^6}{N_{ij}+B}\right)^2$	$\sum_{i=1}^{k}\sum_{=1}^{n_i}\left(\frac{10^6}{N_{ij}+B}\right)^3$	$\sum_{i=1}^{k} n_i \ln\sigma_i \sum_{j=1}^{n_i}\left(\frac{10^6}{N_{ij}+B}\right)^2$
16	377,4326	240,4326	1210,1533	1201,7764

Первое приближение для B_1 дает $Л\ (B_1=10^5)=54{,}1044$; $П\ (B_1=10^5)=81{,}6691$, т. е. $Л(B_1=10^5)<П(B_1=10^5)$. Согласно п. 5.7 принимается следующее значение $B_2=B_1+L_1$. Так как $L=10^5$; $B_2=10^5+10^5=2\cdot10^5$. Для B_2 по схеме п. 5.7 формируется новая таблица и вычисляются $Л(B_2=2.10^5)$ и $П(B=2\cdot10^5)$. Приближение по B с шагом $L=10^5$ прекращается как только изменится знак неравенства (5·9) на противоположный. Для $B_2=2\cdot10^5$: $Л(B_2=2.10^5)=37{,}9768>П(B_2=2\cdot10^5)=32{,}0521$, т. е. знак неравенства сменился и на этом первое приближение с шагом $L_1=10^5$ оканчивается. Устанавливается по п. 5.7 интервал значений $10^5<B<2\cdot10^5$, в котором осуществляется второе приближение с шагом $L_2=10^4$. При этом шаге были получены следующие значения правой и левой частей уравнения (5.1).

$$B_3=1{,}1\cdot10^5: Л(B_3=1{,}1\cdot10^5)=51{,}8149<П(B_3=1{,}1\cdot10^5)=74{,}3419;$$

$$B_4=1{,}2\cdot10^5: Л(B_4=1{,}2\cdot10^5)=49{,}7330<П(B_4=1{,}2\cdot10^5)=67{,}7061;$$

$$B_5=1{,}3\cdot10^5: Л(B_5=1{,}3\cdot10^5)=47{,}8301<П(B_5=1{,}3\cdot10^5)=61{,}5084;$$

$$B_6=1{,}4\cdot10^5: Л(B_6=1{,}4\cdot10^5)=46{,}0830<П(B_6=1{,}4\cdot10^5)=55{,}7915;$$

$$B_7=1{,}5\cdot10^5: Л(B_7=1{,}5\cdot10^5)=44{,}4722<П(B_7=1{,}5\cdot10^5)=50{,}5869;$$

$$B_8=1{,}6\cdot10^5: Л(B_8=1{,}6\cdot10^5)=42{,}9816<П(B_8=1{,}6\cdot10^5)=45{,}9161;$$

$$B_9=1{,}7\cdot10^5: Л(B_9=1{,}7\cdot10^5)=41{,}5975<П(B_9=1{,}7\cdot10^5)=41{,}7800;$$

$$B_{10}=1{,}8\cdot10^5: Л(B_{10}\cdot10^5)=40{,}3081>П(B_{10}=1{,}8\cdot10^5)=38{,}0727.$$

При $B_{10}=1{,}8\cdot10^5$ знак неравенства (5.9) сменился. На этом кончается второе приближение с шагом $L_2=10^4$. Устанавливается по п. 5.7 интервал $1{,}7\cdot10^5<B<1{,}8\cdot10^5$, в котором определяется окончательное B_0 с шагом $L_3=10^3$.

В этом случае при $B_{11}=1{,}71\cdot10^5$.

$Л(B_{11}=1{,}71\cdot10^5)=41{,}4645>П(B_{11}=1{,}71\cdot10^5)=41{,}3845$, т. е. при $B_{11}=1{,}71\cdot10^5$ левая часть неравенства (5.9) больше правой, и на этом кончается третье приближение с шагом $L_3=10^3$.

Окончательное значение B_0 выбирается по результатам сравнения абсолютной величины разности между $Л$ и $П$ при $B_{11}=1{,}71\cdot10^5$ (последний шаг приближения) и $B_9=1{,}70\cdot10^5$ (значение B, предшествующее последнему приближению).

При $B_9=1{,}70\cdot10^5$; $\varepsilon=|Л-П|=0{,}1825$;
при $B_{11}=1{,}71\cdot10^5$; $\varepsilon=|Л-П|=0{,}0800$;

За окончательное принимается $B=1{,}71\cdot10^5$, так как при нем абсолютная разность меньше.

В табл. 3 пердставлена обработка исходных экспериментальных данных для $B=1{,}71\cdot10^5$. Подставляя из нее соответствующие значения в формулы (5.2), (5.4), (5.5), (5.6), вычисляются

$$A=I_1(B_0)=\frac{16\cdot477{,}2208-77{,}6380^2}{16\cdot204{,}6498-77{,}6380\cdot41{,}4645}=0{,}1427^*;$$

$$S\ln\sigma_R=\frac{16\cdot377{,}2208-77{,}6380^2}{16\cdot204{,}6498-77{,}6380\cdot41{,}4645}\times\left\{\frac{1}{16}\cdot132{,}5371-\right.$$

$$\left.-\left(\frac{1}{16}\cdot41{,}4645\right)^2-\frac{1}{0{,}1427^2}\left[\frac{1}{16}\cdot377{,}2208-\left(\frac{1}{16}\cdot77{,}6380\right)^2\right]\right\}^{\frac{1}{2}}=$$

$$=0{,}0335,$$

$$\overline{\sigma}_{R\,\sigma_R}=\exp\left[\frac{1}{16}(77{,}638-0{,}1427\cdot41{,}4645)+\frac{0{,}0335^2}{2}\right]=88{,}5\ (\text{МПа}),$$

---

* Вычисленное значение необходимо умножить на 10^6, так как y_{ij} увеличивалось в 10^6 раз.

Таблица 3

Схема обработки исходных экспериментальных данных для $B_0 = 171000$

Число испытанных образцов	Максимальные значения номинальных напряжений σ_i, МПа	$x_i = \ln \sigma_i$	$y_{ij} = \frac{10^6}{N_{ij} + B_0}$	$x_i y_{ij}$
1	160	5,0752	4,3290	21,9704
2		5,0752	4,2553	21,5965
3		5,0752	4,1841	21,2350
4		5,0752	4,0000	20,3007
5	140	4,9416	3,4364	16,9816
6		4,9416	3,3223	16,4174
7		4,9416	3,0211	14,9294
8		4,9416	2,7701	13,6888
9	120	4,7875	2,4938	11,9389
10		4,7875	2,3753	11,3717
11		4,7875	2,2676	10,8560
12		4,7875	1,6103	7,7093
13	100	4,6052	0,9990	4,6006
14		4,6052	0,8921	4,1081
15		4,6052	0,8190	3,7716
16		4,6052	0,6892	3,1738
$n = \sum_{i=1}^{k} n_i$		$\sum_{i=1}^{k} n_i \ln \sigma_i$	$\sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{10^6}{N_{ij} + B_1}$	$\sum_{i=1}^{k} (\ln \sigma_i) \sum_{j=1}^{n_i} \frac{10^6}{N_{ij} + B}$
16		77,6380	41,4645	204,6498

Продолжение табл. 3

Число испытанных образцов	x_i^2	y_{ij}^2	y_{ij}^3	$x_i\, y_{ij}^2$
1	25,7574	18,7403	81,1267	95,1101
2	25,7574	18,1077	77,0541	91,8998
3	25,7574	17,5067	73,2497	88,8494
4	25,7574	16,0000	64,0000	81,2088
5	24,4198	11,8090	40,5808	58,3559
6	24,4198	11,0374	36 6691	54,5429
7	24,4198	9,1273	27,5750	45,1040
8	24,4198	7,6734	21,2558	37,9190
9	22,9201	6,2189	15,5084	29,7728
10	22,9201	5,6420	13,4015	27,0112
11	22,9201	5,1419	11,6596	24,6167
12	22,9201	2,5931	4,1757	12,4144
13	21,2076	0,9980	0,9970	4,5960
14	21,2076	0,7958	0,7099	3,6647
15	21,2076	0,6708	0,5494	3,0890
16	21,2076	0,4750	0,3273	2,1873
$n=\sum_{i=1}^{k} n_i$	$\sum_{i=1}^{k} n_i(\ln \sigma_i)^2$	$\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\left(\frac{10^6}{N_{ij}+B}\right)^2$	$\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\left(\frac{10^6}{N_{ij}+B}\right)^3$	$\sum_{i=1}^{k} n_i \ln\sigma_i \sum_{j=1}^{n_i}\left(\frac{10^6}{N_{ij}+B}\right)_0^2$
16	377,2208	132,5371	468,8396	660,3354

$$S_{\sigma_R} = \{88{,}5^2[(\exp 0{,}0335^2 - 1)]\exp 0{,}0335^2\}^{\frac{1}{2}} = 3{,}0 \text{ МПа}.$$

По результатам эксперимента установлены следующие значения параметров уравнения кривой усталости (4.1) и распределений пределов выносливости

$$B = 1{,}71 \cdot 10^5; \quad A = 1{,}43 \cdot 10^5;$$

$$\bar{\sigma}_R = 88{,}5 \text{ МПа}; \qquad S_{\sigma_R} = 3{,}0 \text{ МПа}.$$

В соответствии с п. 5.8 расчетное сопротивление усталости, например для $P = 5\ \%$ и $\gamma = 0{,}95$, следует назначать равным

$$R_R(P = 5\%;\ \gamma = 95\%) = 88{,}5 - 2{,}526 \cdot 3{,}0 = 81{,}0 \quad (\text{МПа})$$

В табл. 4 приведены значения k, p, γ, использующиеся для оценки нижнего толерантного предела по результатам испытания 12 и 16 сварных образцов.

Таблица 4

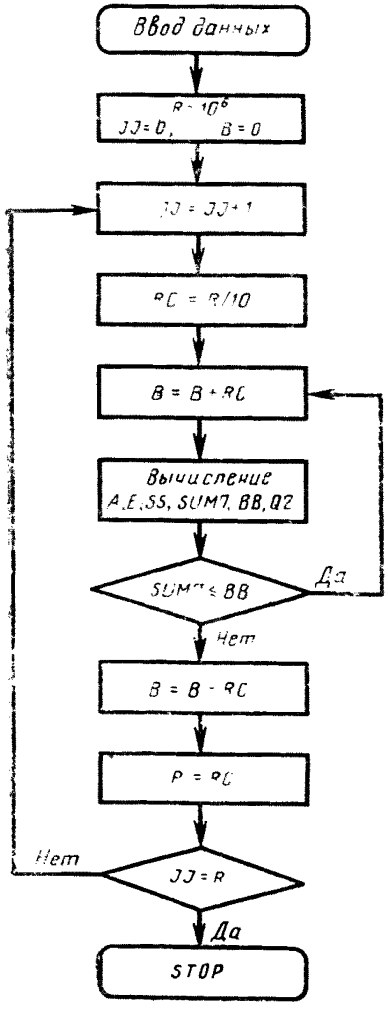
Значения коэффициентов k_p, γ

Количество испытанных образцов	Вероятность разрушения P	Уровень доверия γ		
		0,90	0,95	0,
12	0,05	2,448	2,735	3,011
	0,025	2,866	3,199	3,523
	0,005	3,706	4,120	4,886
16	0,05	2,306	2,526	2,739
	0,025	2,701	2,956	3,201
	0,005	3,427	3,729	4,528

ПРОГРАММА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ $\overline{\sigma_R}$; S_{σ_R}; A; B ПО РЕЗУЛЬТАТАМ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ В ОБЛАСТИ ОГРАНИЧЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

1. Программа REMAK написана на языке ФОРТРАН-IV для ЕС ЭВМ и состоит из одной главной программы. Она предназначена для вычисления параметров (A, B) уравнения кривой усталости (4.1), среднего значения пределов выносливости ($\overline{\sigma_R}$), его среднего квадратического отклонения (S_{σ_R}; Sln_{σ_R}), а также координат теоретической кривой усталости в интервале долговечностей $5 \cdot 10^4$—$10 \cdot 10^6$ циклов.

Блок-схема программы REMAK



Вычисление параметров кривой усталости

В соответствии с алгоритмом (п. 5.7) вначале устанавливается значение параметра B_0. Затем определяются параметры A, $\overline{\sigma_R}$, а также $S_{y_{ij}}$; Sln_{σ_R}; S_{σ_R}; соответствующее B_0.

Программа REMAK используется для обработки исходных данных, полученных в соответствии с разд. 3 методических указаний. Блок-схема программы REMAK представлена на рисунке.

Тип машинного носителя — перфокарты.

2. Подготовка исходной информации к программе.

Исходные данные подготавливаются в виде пакета из 22 перфокарт.

Перфокарты № 1—22 с исходными данными для обработки результатов испытаний являются носителями информации, представленной в таблице.

Идентификатор KIBL соответствует числу поставленных одновременно на счет пакетов исходных данных. Оно набивается на перфокарте № 1 по формату 1 2, а перфокарта № 1 ставится только в первом пакете исходных данных.

Следующие 18 перфокарт содержат соответствующие идентификатору N данные о циклической долговечности j-го образца на i-м уровне нагружения (N_{ij}). Из этих 18 перфокарт для каждого уровня нагружения σ_i отводится по три. На одну из них может быть набито (формат 1 8) до 10 значений N. Программа REMAK предусматривает обработку до 30 результатов испытания на каждом из шести уровней нагружения. Когда результатов испытания меньше тридцати, то оставшиеся позиции на перфокарте можно не заполнять и дополнять перфокарты до трех на уровне нагружения чистыми.

Номер перфокарты	Количество чисел на перфокарте	Наименование идентификаторов, которым присваиваются значения, и соответствующие им переменные	Форма представления чисел на перфокарте
1	1	$KIBL$	1 2
2...19	10	$N—N_{ij}$	10I8
20	6	$S—\sigma_i$	6 F5.1
21	1	$LV—k$	1 3
22	6	$IM(K)—[30(i—1)+n_i]$	1 3

На перфокарте № 20 по формату F5.1 задаются значения уровней нагружения σ_i, соответствующие идентификатору S.

На перфокарте № 21 по формату 1 3 задается количество уровней нагружения (идентификатор LV).

Идентификатор IM (K) обозначает величину $[30(i—1)+n_i]$. Перфокарта № 22 содержит значения I M (K) по формату 1 3. При заполнении перфокарт №№ 2—20 и № 22 следует соблюдать последовательность значений N_{ij}, σ_i и I M (K) по i.

На рис. 2 представлен пример подготовки исходных данных для обработки результатов усталостных испытаний, описанных в приложении 1. На первой перфокарте набивается по формату 1 2 число 1. Это означает, что на счет поставлен один пакет исходных данных.

На второй перфокарте по формату 1 8 набиваются значения долговечности образцов, испытанных на уровне нагружения 160 МПа — 60000, 64000, 68000, 79000 циклов. На 5, 8 и 11-й перфокартах соответственно значения $N_{21}—N_{24}$; $N_{31}—N_{34}$ и $N_{41}—N_{44}$ циклов, характеризующие долговечность образцов на уровнях нагружения 140; 120 и 100 МПа. Поскольку на каждом из шести уровней нагружения должно быть по три перфокарты, а испытания проведены только на четырех уровнях, при сборке пакета исходных данных после 2, 5, 8 и 11-й перфокарт ставится по две чистых перфокарты. Для недостающих двух уровней нагружения ставится по три чистых перфокарты.

На перфокарте № 20 набиваются по формату F5.1 значения уровней нагружения 160, 140, 120 и 100 МПа.

На 21-й перфокарте цифра 4, набитая по формату 1 3, указывает, что испытания проводились на четырех уровнях нагружения.

И, наконец, на 22-й перфокарте набиты по формату 1 3 значения величин IM $(K)=[30(i—1)+n_i]$ при $k=i$. Так как на каждом i-м уровне испытано по четыре образца, I $M(K)=[30(i—1)+4]$.

3. В результате работы программы на печать выводятся:

исходные данные;

значения параметров A, B и $\overline{\sigma_R}$;

значения среднего квадратического отклонения величин y_{ij}, $\ln \sigma_R$, $\sigma_R—S_{y_{ij}}$, $S\ln_{\sigma_R}$, S_{σ_R};

координаты точек теоретической кривой усталости в интервале долговечности $5\cdot10^4—10\cdot10^6$ циклов.

Выводимые на печать данные комментируются соответствующими надписями.

Пример вывода на печать «Результаты расчета».

4. Основные идентификаторы программы:

N — массив экспериментальных значений чисел циклов N_{ij};

S — массив значений уровней нагружения σ_i;

y — массив значений $y_{ij}=\frac{10^6}{N_{ij}+B}$, где B — искомый параметр уравнения (4.1);

IM(K) — массив чисел, обозначающих порядковый номер последнего результата испытаний на уровне нагружения, который устанавливается с учетом того, что для каждого предыдущего уровня отведено по 30 позиций.

MM(K) — массив чисел, обозначающих порядковый номер первого результата испытаний на уровне нагружения, который устанавливается с учетом того, что для каждого предыдущего уровня отведено по 30 позиций;

LV — количество уровней нагружения (*K*);

NN — количество образцов испытанных на *i*-м уровне нагружения (n_i);

BL — общее количество принимаемых в расчет образцов ($n=\sum_{i=1}^{k} n_i$);

A — параметр уравнения (4.1);

BX — среднее квадратическое отклонение $S_{y_{ij}}$;

Q2 — среднее квадратическое отклонение $S\ln\sigma_R$;

SS — среднее квадратическое отклонение S_{σ_R};

E — среднее значение предела выносливости $\overline{\sigma_R}$;

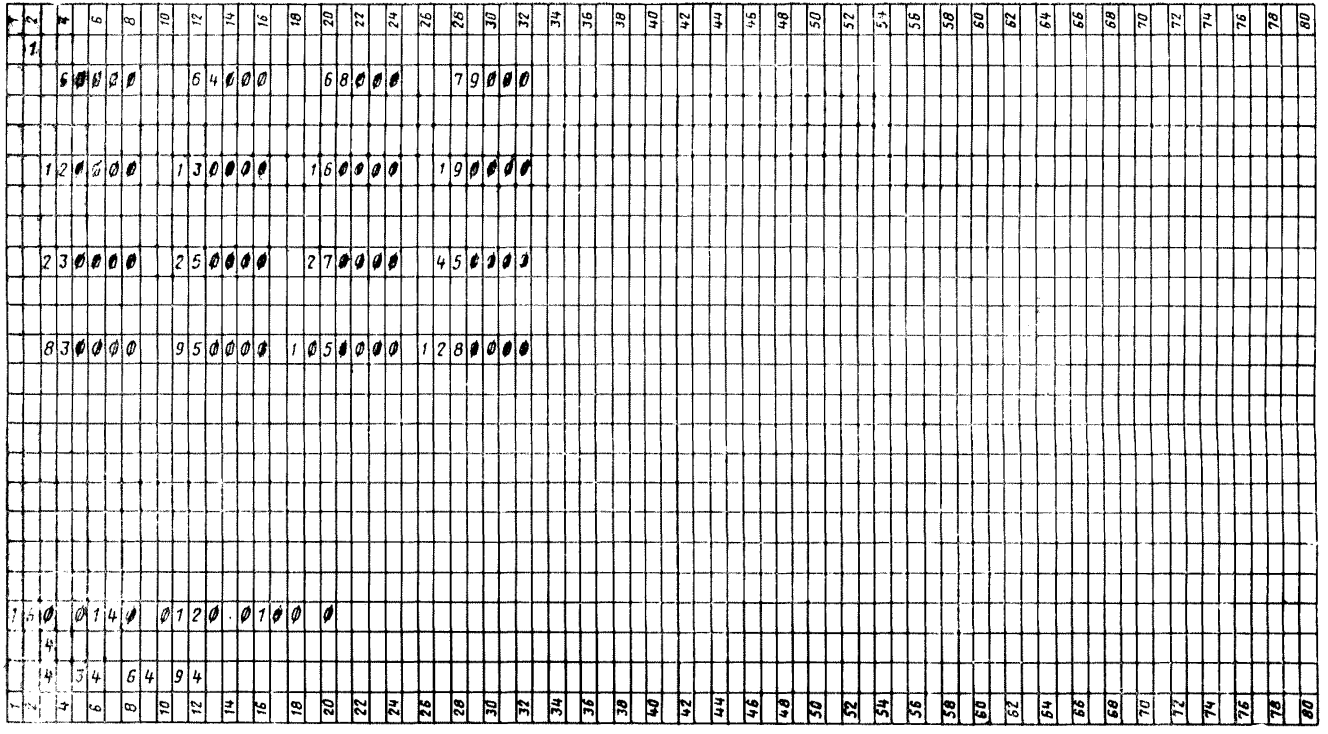
BB — правая часть (*П*) уравнения (5.1).

SUM7 — левая часть (*Л*) уравнения (5.1).

5. Программа отлажена и проверена на ЭВМ ЕС-1040. Объем оперативной памяти ЭВМ, необходимой для выполнения программы, составляет 36 К. Время трансляции программы на ЭВМ — 10 с. Счета контрольного примера — 1 с.

Текст программы и результат вычисления контрольного примера приводятся.

Пример подготовки исходных данных (номер строки бланка соответствует номеру перфокарты в пакете исходных данных)



ПРОГРАММА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ A, B С УЧЕТОМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО УСТАНОВЛЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ σ_R

1. Программа REMAK 1 написана на языке ФОРТРАН IV для ЕС ЭВМ и состоит из одной главной программы. Она предназначена для вычисления параметров (A, B) уравнения кривой усталости (4.1) по результатам испытаний, проведенных в соответствии с п. 4.2.

Параметр B вычисляется по формуле (4.3) в соответствии с п. 5.7, а параметр A — по формуле (4.2).

Исходные данные подготавливаются в виде пакета из 15 перфокарт (см. распечатку данных приложения 3). Первые 14 перфокарт являются носителями информации, представленной в таблице приложения 2. Следующая, 15-я перфокарта, соответствует идентификатору E и на нее набивается по формату $F5.1$ значение предела выносливости, определенного по п. 4.2. Процедура подготовки исходной информации следующая.

На первой перфокарте набивается по формату 1 2 число, соответствующее количеству одновременно поставленных на счет пакетов исходных данных. Перфокарта № 1 ставится только в первом пакете исходных данных.

На каждую перфокарту № 2...№ 11 предусмотрено набить по формату 1 8 до пяти значений циклической долговечности образцов, испытанных на одном из 10 уровней нагружения. Программа REMAK 1 предусматривает обработку до пяти результатов испытания на каждом из десяти уровней нагружения. Когда результатов испытания меньше пяти и они получены на уровнях нагружения меньше десяти, то оставшиеся позиции на перфокарте можно не заполнять, а дополнять перфокарты до десяти чистыми.

На перфокарте № 12 может набиваться по формату $F5.1$ до десяти значений уровней нагружения, а на № 13 по формату 1 3 — количество уровней нагружения содействованных в испытании.

На перфокарте № 14 набиты по формату 1 3 значения величин $I\,M(K)=[5(i-1)+n_i]$; при $k=i$.

Затем ставится перфокарта № 15, на которую набивается по формату $F5.1$ значение предела выносливости.

2. В результате работы программы на печать выводятся исходные данные и значения параметров A, B. Выводимые на печать данные комментируются соответствующими надписями.

3. Программа отлажена и проверена на ЭВМ ЕС-1040. Объем оперативной памяти ЭВМ составляет 20 К. Текст программы и результат вычисления контрольного примера приводятся.

ПРОГРАММА РЕМАК

```
      ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПО МЕТОДУ МАКСИМУМА ПРАВДОПОДОБИЯ
      DIMENSION У(180),N(180),S(6),IM(10),ММ(6),X(6)
      CALL BLKIND
      READ 102,NVAR
  102 FORMAT(I2)
      DO 1001 KIBL=1,NVAR
      READ 24,N
   24 FORMAT(10I8)
      READ 400,S
  400 FORMAT(6F5.1)
      READ 401,LV
  401 FORMAT(I3)
      READ 402,(IM(K),K=1,6)
  402 FORMAT(6I3)
      PRINT 97
   97 FORMAT(10(120X/),50X,15НИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ)
      PRINT 501,N
  501 FORMAT(20X,10I8)
      PRINT 502,S
  502 FORMAT(20X,6F5 1)
      PRINT 503,LV
  503 FORMAT(20X,I3)
      PRINT 504,(IM(K),K=1,6)
  504 FORMAT(20X,6I3)
      DO 28 I=1,LV
   28 X(I)=ALOG(S(I))
      DO 9 K=1,LV
    9 MM(K)=(K-1)*30+1
      B=0.
      JJ=0.
      RA=1000000.
      R=RA
    3 JJ=JJ+1
      RC=R/10
   30 BL=0.
      IF(JJ.NE.3) GO TO 31
      CST=ABS(SUM7-BB)
      AST=A
      BST=BK
      BXST=BX
      EST=E
      STQ2=Q2
      SST=SS
   31 BK=B
      SUM1=0.
      SUM2=0.
      SUM5=0.
      SUM6=0.
      SUM7=0.
      SUM8=0.
      SUM9=0.
      DO 40 K=1,LV
      NN=IM(K)-MM(K)+1
      AN=NN
      BL=BL+AN
      SUM1=SUM1+AN*X(K)
      SUM2=SUM2+AN*X(K)**2
```

```
      MP=MM(K)
      NP=IM(K)
      SUM3=0.
      SUM4=0
      SUM10=0.
      DO 50 I=MP,NP
      BKB=N(I)+B
      Y(I)=RA/BKB
      SUM10=SUM10+Y(I)
      SUM3=SUM3+Y(I)**2
      SUM4=SUM4+Y(I)**3
   50 CONTINUE
      SUM5=SUM5+X(K)*SUM10
      SUM6=SUM6+X(K)*SUM3
      SUM7=SUM7+SUM10
      SUM8=SUM8+SUM3
      SUM9=SUM9+SUM4
   40 CONTINUE
      PA=BL*SUM2-SUM1**2
      PB=(BL*SUM5-SUM1*SUM7)/PA
      A=1./PB
      CA=1./BL
      QA=CA*SUM2-(CA*SUM1)**2
      QB=CA*SUM8-(CA*SUM7)**2-(QA*PB**2)
      BB=((SUM9-CA*SUM7*SUM8)-PB*(SUM6-CA*SUM1*SUM8))/(2*QB)
      IF(QB.GT 0.) GO TO 60
      PRINT 55
   55 FORMAT (20X,'ДИСПЕРСИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНА')
   60 BX=SQRT(QB)
      Q1=(A*BX)**2
      Q2=SQRT(Q1)
      E=(CA*SUM1-CA*A*SUM7)*Q1/2
      E=EXP(E)
      B=B+RC
      SS=SQRT(E**2*(EXP((A*BX)**2)-1.)*EXP((A*BX)**2))
      IF(SUM7-BB)30, 20,20
   90 B=B-2.*RC
      R=RC
      IF(JJ-3)3,20,20
   20 CONTINUE
      IF (ABS(SUM7-BB).LE.CST) GO TO 100
      BK=BST
      A=AST
      BX=BXST
      E=EST
      Q2=STQ2
      SS=SST
  100 PRINT 41,A,BK,BX,E,Q2,SS
   41 FORMAT(//10X,'РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА'/
     15X,'ПАРАМЕТР A=',F15.3/
     25X,'ПАРАМЕТР B=',F15.3/
     35X,'ДИСПЕРСИЯ G=',F15.3/
     45X,'ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ E=',F15.3/
     55X,'ДИСПЕРСИЯ Q2=',F15.3/
     65X,'ДИСПЕРСИЯ SS=',F13.3)
C-------------------------------------------------------
C     ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ УСТАЛОСТИ
C-------------------------------------------------------
```

```
      PRINT 129
  129 FORMAT(//5X,'КООРДИНАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ УСТАЛОСТИ'//)
      PRINT124
  124 FORMAT(//5X,'N(ЦИКЛОВ)',10X,'G(МПА)'/)
      DO 140 I=1,3
      N5=10**I
      N6=1000*N5
      DO 142 JJ=1,10
      IF(JJ.LE.4.AND.I.EQ.1) GO TO 142
      N8=N6*JJ
      B5=E*EXP(A*1000000;/(N8*1.+BK))
      PRINT 143,N8,B5
  143 FORMAT(3X,I9,10X,F7 3)
  142 CONTINUE
  140 CONTINUE
 1001 CONTINUE
      STOP
      END
```

исходные данные

```
 60000   64000   68000   79000

120000  13 000  160000  190000

230000  25 0    270000  450000

830000  950000 1050000 1280000
```

```
160.0140.0120.0100.0
  4
  4 34 64 94120150
```

```
      ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ А,В КРИВОЙ УСТАЛОСТИ
      DIMENSION N(100),S(10),IN(10),MM(10),X(10)
      CALL BLKIND
      READ 1,NVAR
    1 FORMAT(I2)
      DO 2 KIBL=1,NVAR
      READ 3,(N(I),I=1,50)
    3 FORMAT(5I8)
      READ 4,(S(K),K=1,10)
    4 FORMAT(10F5.1)
      READ 5,LV
    5 FORMAT(I3)
      READ 6,(IM(K),K=1,10)
    6 FORMAT(10I3)
      READ 7,E
    7 FORMAT(F5.1)
      PRINT 8
    8 FORMAT(10(120X/),50X,15HИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ)
      PRINT 9,(N(I),I=1,50)
    9 FORMAT(10(20X,5I8/))
      PRINT 10,(S(K),K=1,10)
   10 FORMAT(1(20X,10F8.1))
      PRINT 11,LV
   11 FORMAT(20X,I3)
      PRINT 12,(IM(K),K=1,10)
   12 FORMAT(20X,10I3)
      PRINT 13,E
   13 FORMAT(20X,F5.1)
      DO 15 I=1,LV
   15 X(I)=ALOG(S(I))
      T=ALOG(E)
      DO 16 K=1,LV
   16 MM(K)=(K-1)*5+1
      B=0.
      JJ=0
      RA=1000000.
      R=RA
   24 JJ=JJ+1
      RC=R/10
   21 BL=0.
      IF(JJ.NE.3) GO TO 31
      BST=BK
      AST=A
      CST=ABS(SUM3-PRCH)
      ST02=SУ
   31 BK=B
      SUM3=0
      SUM1=0
      SUM4=0
      SU*5=0
      SUM6=0
      SUM7=0
      SUM9=0
      DO 19 K=1,LV
      NN=IM(K)-MM(K)+1
      P=X(K)-T
```

```
      AN=NN
      BL=BL+AN
      SUM7=SUM7+P**2*NN
      MP=MM(K)
      NP=IM(K)
      SUM10=0
      SUM8=0.
      DO 20 I=MP,NP
      BKB=N(I)+B
      Y=RA/BKB
      SUM10=SUM10+Y
      SUM8=SUM8+Y**2
   20 SUM5=SUM5+Y**3
      SUM1=SUM1+P+SUM10
      SUM3=SUM3+SUM10
      SUM4=SUM4+SUM8
   19 SUM9=SUM9+SUM8*P
      A=SUM7/SUM1
      SY2=(SUM4-2.*SUM1/A+SUM7/A**2)


      SY=SQRT(SY2)
      PRCH=( SUM5-SUM9 /A) *BL/2 /SY2
      B=B+RC
      IF(SUM3-PRCH) 21,27,23
   23 B=B-2.*RC
      R=RC
      IF(JJ-3) 24,27,27
   27 CONTINUE
      IF (ABS(SUM3-PRCH).LE.CST) GO TO 22
      BK=BST
      A=AST
      SY=STQ2
   22 A=A+1 E 06
      PRINT 25,A,BK,SY
   25 FORMAT(///10X,'РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА' / 5X,
     1  'ПАРАМЕТР A=',F15.0/
     25X,'ПАРАМЕТР B=',F15.0/
     35X,'ДИСПЕРСИЯ Q=',F15.3/)
    2 CONTINUE
      STOP
      END
```

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 1
2. Образцы и требования к их изготовлению 2
3. Проведение испытаний 6
4. Обработка результатов 8
5. Оценка распределений пределов выносливости 10
6. Характеристики сопротивления усталости сварных соединений с предельными остаточными напряжениями 14
7. Принятые обозначения и сокращения 34
Приложение 1 35
Приложение 2. Рекомендуемое 42
Приложение 3. Рекомендуемое 46

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Расчеты и испытания на прочность. Расчетно-экспериментальные методы оценки сопротивления усталости сварных соединений

РД 50—551—85

Редактор *В. А. Матюшенко*
Технический редактор *Н. С. Гришанова*
Корректор *В. С. Черная*

Сдано в наб. 07.08.85 Подп. в печ. 05.11.85 Т-19703 Формат изд. 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. 3,25 усл. п. л. 3,5 усл. кр.-отт. 3,14 уч.-изд. л. Тир. 10 000 Цена 20 коп. Изд. № 8689/4.

ена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 2357

gost.e-ecolog.ru