

Изменение № 1 ГОСТ 25.504—82 Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости

Утверждено и введено в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 22.12.88 № 4421

Дата введения 01.07.89

Под наименованием стандарта поставить код: ОКСТУ 0803.

Вводная часть. Девятнадцатый абзац исключить.

Пункт 1.2.2. Второй абзац изложить в новой редакции формулу (9) исключить: «Коэффициенты K_σ , K_τ могут определяться экспериментально на геометрически подобных образцах диаметром d или толщиной h поперечного сечения не менее 40 мм, если d или h рассчитываемой детали превышают это значение. Если d или h рассчитываемой детали меньше 40 мм, то при экспериментальном определении K_σ , K_τ целесообразно вести испытания на натуральных деталях или моделях тех же поперечных размеров»;

третий абзац. Заменить слова: «(табл. 1—3 и черт. 1—16)» на «(черт. 1—7, 13—16)»;

формулу (10) изложить в новой редакции: $\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} = \left(\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} \right) \cdot \xi' \cdot \xi''$,

$$\frac{K_\tau}{K_{d\tau}} = 0,6 \frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} ;$$

(Продолжение изменения к ГОСТ 25.504—82)

последний абзац исключить.

Пункт 1.2.3.1. Первый абзац изложить в новой редакции: «Коэффициенты K_σ , K_τ , $K_{d\tau}$, $K_{d\sigma}$ и отношение $\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} = \frac{K_\tau}{K_{d\tau}}$ в случае отсутствия прямых экспериментальных данных могут быть вычислены по формулам (при известных значениях ν_σ , ν_τ , α и G):

$$K_\sigma = \frac{(1 + \Theta_{\text{гл}}^{-\nu_\sigma}) \alpha_\sigma}{1 + \Theta^{-\nu_\sigma}} ; \quad K_\tau = \frac{(1 + \Theta_{\text{гл}}^{-\nu_\tau}) \alpha_\tau}{1 + \Theta^{-\nu_\tau}} ; \quad (11)$$

$$K_{d\sigma} = 0,5(1 + \Theta_{\text{гл}}^{-\nu_\sigma}) = \frac{1}{F(\Theta_{\text{гл}}; \nu_\sigma)} ;$$

$$K_{d\tau} = 0,5(1 + \Theta_{\text{гл}}^{-\nu_\tau}) = \frac{1}{F(\Theta_{\text{гл}}; \nu_\tau)} ; \quad (12)$$

$$\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} = \frac{2\alpha_\sigma}{1 + \Theta^{-\nu_\sigma}} = \alpha_\sigma \cdot F(\Theta_{\text{гл}}; \nu_\sigma) ;$$

$$\frac{K_\tau}{K_{d\tau}} = \frac{2\alpha_\tau}{1 + \Theta^{-\nu_\tau}} = \alpha_\tau \cdot F(\Theta_{\text{гл}}; \nu_\tau) , \quad (12a)$$

где $\sigma_{гд} = \left(\frac{d_{гд}}{7,5}\right)^2$ — значение относительного критерия подобия усталостного разрушения для гладкого (без концентрации напряжений) образца диаметром $d_{гд}$ в миллиметрах.

Пункт 1.2.3.2. Последний абзац и формулы (16), (17) исключить.

Пункт 1.2.3.3. Исключить слова: «Значения $\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}}$, $\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}}$ определяют по формулам (16) и (17)».

Пункт 1.3. Коэффициенты K_2 , K_3 исключить.

Пункты 1.3.2, 1.3.3 исключить.

Пункт 1.8.2. Формулу (27) изложить в новой редакции:

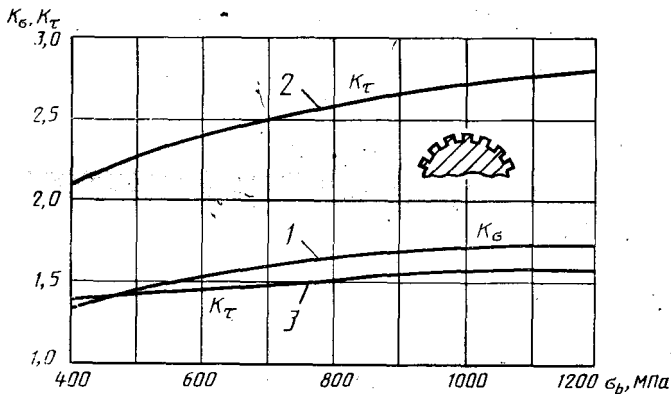
$\nu_{\sigma} = 0,211 - 0,000143 \sigma_{в}$ при $\sigma_{в} < 1300$ МПа,

$\nu_{\sigma} = 0,025$ при $\sigma_{в} > 1300$ МПа.

Пункты 5.4.1, 5.4.5, 5.5.1. Заменить ссылку: ГОСТ 1497—73 на ГОСТ 1497—84.

Приложение 1. Исключить обозначения $K_{\sigma(dp)}$, $K_{3(dp)}$, K_2 , K_3 и их определения.

Приложение 2. Исключить таблицы 1, 2, 3 и чертежи 8—12, 17. Чертеж 7 заменить новым:



1 — прямоугольные и эвольвентные шлицы;
2 — прямоугольные шлицы; 3 — эвольвентные шлицы.

Черт. 7

чертеж 13. Исключить значения: $d = 15$ мм, $R_z = 10$ мкм.

Приложение 3. Чертеж 44. Заменить значение в формуле: 3 на 6.

Приложение 6. Пример 1. Пункт 4. Заменить формулы: $\nu_{\sigma} = 0,2 - 650 \cdot 10^{-4} = 0,135$ на $\nu_{\sigma} = 0,211 - 0,000143 \cdot 650 = 0,12$; $F(\theta, \nu_{\sigma}) = 1,17$ на $F(\theta, \nu_{\sigma}) = 1,15$;

пункт 5. Заменить значения: 1,17 на 1,15; 1,90 на 1,86;

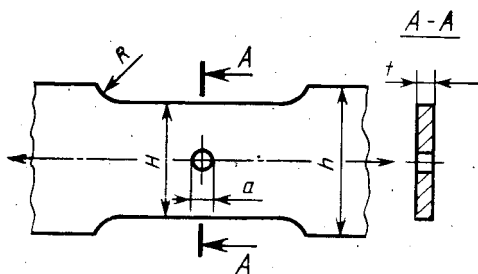
пункт 7. Заменить значения: 1,90 на 1,86; 2,00 на 1,96;

пункт 9 изложить в новой редакции: «9. Коэффициент $K_1 = 1$;

пункт 10 исключить;

пункт 11. Первый абзац. Заменить значения: 234 на 300; 2 на 1,96; 117 на 153; второй абзац. Заменить значения: 0,135 на 0,12; 0,041 на 0,042; последний абзац. Заменить значение: $0,041^2$ на $0,042^2$.

Пример 2. Чертеж 2 заменить новым:



пункт 5 изложить в новой редакции: «5. Определяем параметр v_σ по формуле (27) настоящего стандарта $v_\sigma = 0,211 - 0,000143 \cdot 402 = 0,15$ »;

пример 2 дополнить пунктом — 5а: «5а. Определяем значения L , \bar{G} и $\Theta_{г.л}$ для аналогичной пластины без концентратора напряжений по табл. 1 и приложению 4 (черт. 2) настоящего стандарта.

$$L = 2t = 2 \cdot 12 = 24 \text{ мм};$$

$$\varphi = \frac{1}{4 \sqrt{\frac{t}{\rho} + 2}} = \frac{1}{4 \sqrt{\frac{10}{50} + 2}} = 0,26;$$

$$\bar{G} = \frac{2,3(1 + \varphi)}{\rho} = \frac{2,3(1 + 0,26)}{50} = 0,058;$$

$$\Theta_{г.л} = \frac{L/\bar{G}}{7,5} = \frac{24}{0,058 \cdot 7,5} = 55;$$

пункт 6 изложить в новой редакции: «6. Определяем коэффициент $K_{d\sigma}$ по формуле (12) настоящего стандарта:

$$K_{d\sigma} = 0,5(1 + \Theta_{г.л}^{-v_\sigma}) = 0,5(1 + 55^{-0,15}) = 0,77,$$

$$\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} = \frac{2,44}{0,77} = 3,17;$$

пункт 8. Заменить значения: 2,52 на 3,17; 2,64 на 3,29;

пункты 9, 10 исключить;

пункт 11 после слов «настоящего стандарта» изложить в новой редакции: «(коэффициент $K_1 = 1$ для углеродистых сталей)

$$\bar{\sigma}_{-1d} = \frac{185}{3,29} = 56,2 \text{ МПа}.$$

Пример 3. Пункт 5 изложить в новой редакции: «5. Определяем параметр v_τ по формулам (27) и (28) настоящего стандарта:

$$v_\tau = 0,211 - 0,000143 \cdot 820 = 0,09;$$

$$v_\tau = 1,5 \cdot 0,09 = 0,140;$$

пример 3 дополнить пунктами — 5.1—5.3: «5.1. Определяем значение $\Theta_{г.л}$ по п. 1.2.3.1 настоящего стандарта:

$$\Theta_{г.л} = \left(\frac{d_{г.л}}{7,5}\right)^2 = \left(\frac{180}{7,5}\right)^2 = 576.$$

(Продолжение изменения к ГОСТ 25.504—82)

5.2. Вычисляем коэффициент $K_{d\tau}$ по формуле (12) настоящего стандарта:

$$K_{d\tau} = 0,5(1 + \Theta_{\text{г.л.}}^{-\nu\sigma}) = 0,5(1 + 576^{-0,14}) = 0,71.$$

5.3. Определяем отношение $\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}}$:

$$\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}} = \frac{2,54}{0,71} = 3,58.$$

пункт 9. Заменить значения: 3,18 на 3,58; 3,30 на 3,7;

(Продолжение изменения к ГОСТ 25.504—82)

пункт 12. Заменить значения: 3,30 на 3,7; 53,9 на 48,1.

Приложение 7. Четвертый абзац изложить в новой редакции: «Наиболее точным методом определения коэффициентов K , отражающих суммарное влияние всех факторов на пределы выносливости, является экспериментальный метод (п. 1.2.1)»;

шестой абзац. Заменить ссылку: п. 1.2.2.1 на п. 1.2.3.1; седьмой абзац. Заменить слова: «формулы (20)—(24) для коэффициентов» на «формула (20) для коэффициента».

(ИУС № 4 1989 г.)

РАСЧЕТЫ И ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ

Методы расчета характеристик сопротивления
усталости

Strength calculation and testing.
Methods of fatigue strength behaviour calculation

ГОСТ
25.504-82

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18 мая 1982 г. № 1972 срок действия установлен

с 01.07. 1983 г.

до 01.07.1988 г.

Настоящий стандарт устанавливает методы расчета следующих характеристик сопротивления усталости деталей машин и элементов конструкций, изготовленных из сталей, в много- и малоцикло-вой упругой и упругопластической области:

медианных значений пределов выносливости на базе 10^7 циклов;

пределов выносливости для заданной вероятности разрушения на базе 10^6 циклов;

коэффициента вариации пределов выносливости;

показателя наклона левой ветви кривой усталости в двойных логарифмических координатах;

абсциссы точки перелома кривой усталости;

коэффициента чувствительности к асимметрии цикла напряжений;

предельных амплитуд при асимметричных циклах нагружения;

параметров уравнения кривой малоцикло-вой усталости (в пределах до 10^6 циклов) при:

растяжении — сжатии, изгибе и кручении;

симметричных и асимметричных циклах напряжений или деформаций, изменяющихся по простому периодическому закону с постоянными параметрами;

абсолютных размерах поперечного сечения детали до 300 мм;

наличии и отсутствии концентрации напряжений;

температуре от минус 40 до плюс 100°C;

наличии и отсутствии агрессивной среды;
частоте нагружения в пределах 1—300 Гц.

Стандарт не распространяется на методы расчета характеристик сопротивления усталости;

сварных конструкций и их элементов;

деталей машин с существенной неравномерностью механических свойств по поперечному сечению и при наличии остаточных напряжений.

Область применения стандарта ограничивается случаями, для которых в тексте стандарта и приложений имеются все исходные и справочные данные.

Выбор требуемой номенклатуры характеристик сопротивления много- и малоциклового усталости определяется в каждом конкретном случае задачами и методом расчета по действующим в отраслях нормативно-техническим документам.

Термины, определения и обозначения, применяемые в стандарте — по ГОСТ 23207—78.

Обозначения, применяемые в стандарте, приведены в обязательном приложении 1.

Размерность напряжений — МПа, геометрических размеров — мм.

Настоящий стандарт унифицирован со стандартами ГДР ТГЛ 19340/03 и ТГЛ 19340/04.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ

1.1. Определение медианных значений пределов выносливости

Медианные значения пределов выносливости деталей машин в номинальных напряжениях $\bar{\sigma}_{-1d}$, (соответствующие вероятности разрушения $P=50\%$), определяют с учетом коэффициента снижения предела выносливости K , по формулам:

при растяжении — сжатии или изгибе:

$$\bar{\sigma}_{-1d} = \frac{\bar{\sigma}_{-1t}}{K}; \quad (1)$$

$$K = \left(\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_{\sigma} \cdot K_A}; \quad (2)$$

$$\bar{\sigma}_{-1} = K_1 \cdot \bar{\sigma}_{-1}^*, \quad (3)$$

где $\bar{\sigma}_{-1}$ — медианное значение предела выносливости на поверхности всех плавок металла данной марки гладких лабораторных образцов диаметром $d_0=7,5$ мм, изгото-

лённых из заготовок диаметром d , равным абсолютно-
му размеру рассчитываемой детали;

$\bar{\sigma}_{-1}$ — медианное значение предела выносливости на совокупности всех плавок металла данной марки гладких лабораторных образцов диаметром $d_0=7,5$ мм, изготовленных из заготовок размерами 10—20 мм;

K_1 — коэффициент, учитывающий снижение механических свойств металла (σ_B , σ_T , σ_{-1}) с ростом размеров заготовок (п. 1.3).

при кручении:

$$\bar{\tau}_{-1k} = \frac{\bar{\tau}_{-1}}{K} ; \quad (4)$$

$$K = \left(\frac{K_\tau}{K_{d\tau}} + \frac{1}{K_{P\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_v \cdot K_A} ; \quad (5)$$

$$\bar{\tau}_{-1} = K_1 \cdot \bar{\tau}'_{-1} . \quad (6)$$

Медианные значения пределов выносливости деталей $\bar{\sigma}_{-1k}$, $\bar{\tau}_{-1k}$, полученные по формулам (1) и (4) для $P=50\%$, используются для оценки пределов выносливости деталей при любой заданной вероятности разрушения (разд. 2 и 3).

Примечания:

1. При наличии коррозионных воздействий в формулы (2) и (5) вместо K_P следует подставлять значения $K_{кор}$.

2. При отсутствии экспериментальных данных ориентировочно величины $\bar{\sigma}_{-1}$, $\bar{\tau}_{-1}$ допускается оценивать на основе соотношений:

$$\bar{\sigma}_{-1} = (0,55 - 0,0001 \cdot \bar{\sigma}_B) \cdot \bar{\sigma}_B , \quad (7)$$

где $\bar{\sigma}_B$ — среднее значение предела прочности стали данной марки, определенное на образцах, изготовленных из заготовок диаметром d , равным абсолютно-му размеру рассчитываемой детали, МПа.

$$\bar{\tau}_{-1} = 0,6 \cdot \bar{\sigma}_{-1} . \quad (8)$$

1.2. Определение эффективных коэффициентов концентрации напряжений K_σ , K_τ и отношений $K_\sigma / K_{d\sigma}$, $K_\tau / K_{d\tau}$.

1.2.1. Коэффициенты K_σ , K_τ и отношения $K_\sigma / K_{d\sigma}$, $K_\tau / K_{d\tau}$ определяют по экспериментальным данным или путем расчета.

1.2.2. Определение K_σ , K_τ , $K_\sigma / K_{d\sigma}$ и $K_\tau / K_{d\tau}$ по экспериментальным данным.

При экспериментальном определении коэффициента K_σ на геометрически подобных образцах диаметром $d_p > d_0 = 7,5$ мм отношение $K_\sigma / K_{d\sigma}$ вычисляют по формуле

$$\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} = \frac{K_{\sigma(d_p)} \cdot K_{3(d_p)}}{K_2 \cdot K_3} \quad (9)$$

где $K_{\sigma(d_p)} = (\sigma_{-1})_{d_p} / (\sigma_{-1n})_{d_p}$ — эффективный коэффициент концентрации напряжений, определенный на образцах диаметром d_p ;

$K_{3(d_p)}$ — коэффициент K_3 , соответствующий диаметру d_p ;

K_2, K_3 — коэффициенты, учитывающие влияние абсолютных размеров на пределы выносливости по опытному данным для детали размером d (п. 1.3).

Для ряда деталей экспериментально полученные значения K_{σ} , K_{τ} и $K_{\sigma}/K_{d\sigma}$, $K_{\tau}/K_{d\tau}$ приведены в обязательном приложении 2 (табл. 1—3 и черт. 1—16).

Значения $(K_{\sigma}/K_{d\sigma})_0$ для валов с напрессованными деталями (при наличии коррозии трения) при изгибе представлены на черт. 1.

При $\sigma_s > 500$ МПа и $p < 30$ МПа следует учитывать соответствующие поправочные коэффициенты ξ' и ξ'' (черт. 2 и 3) и определять значения $K_{\sigma}/K_{d\sigma}$ по формуле

$$\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} = \left(\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} \right)_0 \cdot \xi' \cdot \xi'' \quad (10)$$

Значения эффективных коэффициентов концентрации напряжений $K_{\sigma(d_p)}$, $K_{\tau(d_p)}$ приведены в табл. 1—3 и на черт. 4—13 обязательного приложения 2.

1.2.3. Определение K_{σ} , K_{τ} и $K_{\sigma}/K_{d\sigma}$, $K_{\tau}/K_{d\tau}$ методом расчета.

1.2.3.1. При наличии экспериментальных данных о параметре уравнения подобия ν_{σ} или ν_{τ} , а также формул для L и \bar{G} для конструкционных сталей значения $K_{\sigma}/K_{d\sigma}$, $K_{\tau}/K_{d\tau}$ вычисляют по формулам:

$$\text{при изгибе} \quad \frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} = \frac{2\alpha_{\sigma}}{1 + \theta - \nu_{\sigma}} = \alpha_{\sigma} \cdot F(\theta, \nu_{\sigma}), \quad (11)$$

$$\text{при кручении} \quad \frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}} = \frac{2\alpha_{\tau}}{1 + \theta - \nu_{\tau}} = \alpha_{\tau} \cdot F(\theta, \nu_{\tau}). \quad (12)$$

Определение относительного критерия подобия усталостного разрушения θ , величин ν_{σ} , ν_{τ} и функции $F(\theta, \nu)$ приведено в пп. 1.5 и 1.8.

1.2.3.2. Если известны только величины α_{σ} , α_{τ} и \bar{G} , то K_{σ} или K_{τ} вычисляют приближенно по формулам:

$$K_{\sigma} = \frac{\alpha_{\sigma}}{n}; \quad (13)$$

$$K_{\tau} = \frac{\alpha_{\tau}}{n} \quad (14)$$

Коэффициент n вычисляют по формуле

$$n = 1 + \sqrt{\bar{G}} \cdot 10^{-(0,33 + \frac{\sigma_{\tau}}{712})} \quad (15)$$

или по черт. 14 обязательного приложения 2 в зависимости от значений относительного градиента напряжений \bar{G} (мм⁻¹), вычисленного по формулам, приведенным в табл. 1, и предела текучести σ_{τ} (МПа).

Отношения $\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}}$, $\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}}$ вычисляют по формулам:

$$\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} = \frac{K_{\sigma}}{K_2} \quad (16)$$

$$\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}} = \frac{K_{\tau}}{K_2} \quad (17)$$

1.2.3.3. В приближенных расчетах значения K_{σ} и K_{τ} вычисляют по формулам:

$$K_{\sigma} = 1 + q(\alpha_{\sigma} - 1); \quad (18)$$

$$K_{\tau} = 1 + q(\alpha_{\tau} - 1), \quad (19)$$

где значения коэффициентов чувствительности металла к концентрации напряжений q определяют по черт. 15 обязательного приложения 2. Значения $\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}}$, $\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}}$ определяют по формулам (16) и (17).

1.3. Определение коэффициентов K_1 , K_2 , K_3

1.3.1. Коэффициент K_1 для легированных сталей определяют по черт. 16 обязательного приложения 2 или по формуле

$$K_1 = 1 - 0,2 \lg \frac{d}{d_0} \quad \text{для } d < 150 \text{ мм}, \quad (20)$$

где $d_0 = 7,5$ мм — диаметр гладкого лабораторного образца;

$K_1 = 0,74$ для $d > 150$ мм.

Для углеродистых сталей $K_1 = 1$.


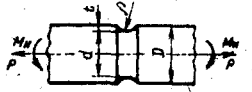
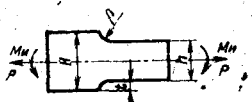
1.3.2. Коэффициент K_2 вычисляют по формулам:


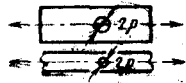
$$K_2 = 1 - \left(1 - \frac{\sigma_{-1}^{(p)}}{\sigma_{-1}}\right) \cdot 0,77 \cdot \lg \frac{d}{d_0} \quad \text{для } d < 150 \text{ мм} \quad (21)$$

$$\text{и } K_2 = \frac{\sigma_{-1}^{(p)}}{\sigma_{-1}} \quad \text{для } d > 150 \text{ мм}, \quad (22)$$

где $\sigma_{-1}^{(p)}$ — предел выносливости при растяжении — сжатии.

При отсутствии экспериментальных данных отношение $\frac{\sigma_{-1}^{(p)}}{\sigma_{-1}}$ для гладких лабораторных образцов принимают равным 0,8.

Деталь	Формулы для вычисления $\bar{\sigma}$, $\bar{\sigma}_c$		
	Изгиб	Растяжение-сжатие	Кручение
 $\frac{H}{h} \geq 1,5$ $\frac{H}{h} < 1,5$	$\bar{\sigma} = \frac{2}{r} + \frac{2}{h}$ $\bar{\sigma} = \frac{2(1+\varphi)}{r} + \frac{2}{h}$	$\bar{\sigma} = \frac{2}{r}$ $\bar{\sigma} = \frac{2(1+\varphi)}{r}$	<p>—</p> <p>—</p>
 $\frac{D}{d} \geq 1,5$ $\frac{D}{d} < 1,5$	$\bar{\sigma} = \frac{2}{r} + \frac{2}{d}$ $\bar{\sigma} = \frac{2(1+\varphi)}{r} + \frac{2}{d}$	$\bar{\sigma} = \frac{2}{r}$ $\bar{\sigma} = \frac{2(1+\varphi)}{r}$	$\bar{\sigma}_c = \frac{1}{r} + \frac{2}{d}$ $\bar{\sigma}_c = \frac{1}{r} + \frac{2}{d}$
 $\frac{H}{h} \geq 1,5$ $\frac{H}{h} < 1,5$	$\bar{\sigma} = \frac{2,3}{r} + \frac{2}{h}$ $\bar{\sigma} = \frac{2,3(1+\varphi)}{r} + \frac{2}{h}$	$\bar{\sigma} = \frac{2,3}{r}$ $\bar{\sigma} = \frac{2,3(1+\varphi)}{r}$	<p>—</p> <p>—</p>

Деталь	Формулы для вычисления $\bar{\sigma}$, $\bar{\sigma}_c$			
	Изгиб	Растяжение—сжатие	Кручение	
	$\frac{D}{d} \geq 1,5$	$\bar{\sigma} = \frac{2,3}{r} + \frac{2}{d}$	$\bar{\sigma} = \frac{2,3}{r}$	$\bar{\sigma}_c = \frac{1,15}{r} + \frac{2}{d}$
	$\frac{D}{d} < 1,5$	$\bar{\sigma} = \frac{2,3(1+\varphi)}{r} + \frac{2}{d}$	$\bar{\sigma} = \frac{2,3(1+\varphi)}{r}$	$\bar{\sigma}_c = \frac{1,15}{r} + \frac{2}{d}$
	—	$\bar{\sigma} = \frac{2,3}{r}$	—	

Примечание. $\varphi = \frac{1}{4 \sqrt{\frac{r}{d} + 2}}$

1.3.3. Коэффициент K_3 определяют по черт. 17 обязательного приложения 2 или по формулам:

$$K_3 = 1 - 0,15 \cdot \lg K_0 \cdot \lg \frac{d}{d_0} \quad \text{для } d \leq 150 \text{ мм и} \quad (23)$$

$$K_3 = 1 - 0,195 \cdot \lg K_0 \quad \text{для } d > 150 \text{ мм.} \quad (24)$$

1.4. Определение теоретических коэффициентов концентрации напряжений α_s , α_t

1.4.1. Коэффициенты α_s , α_t определяют по теоретическим решениям или на основе измерений с помощью поляризационно-оптического метода, тензомерирования и т. п. (обязательное приложение 3, черт. 1—47).

1.4.2. Для определения теоретических коэффициентов концентрации напряжений в деталях, изображенных в табл. 2, могут быть использованы также номограммы, приведенные на черт. 48 и 49 обязательного приложения 3.

Примечания:

1. Пример использования номограмм для элементов с двусторонней внешней выточкой при изгибе.

Дано: $\rho = 2,5$ мм; $t = 15$ мм; $a = 95$ мм.

Находим $\sqrt{\frac{t}{\rho}} = 2,45$, $\sqrt{\frac{a}{\rho}} = 6,16$.

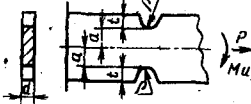
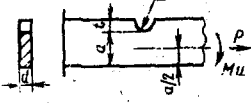
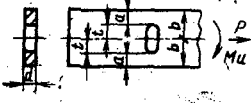
Как вытекает из табл. 2, для $\sqrt{\frac{t}{\rho}}$ нужно воспользоваться рядом чисел v , а для $\sqrt{\frac{a}{\rho}}$ — кривой 2. По черт. 48 от абсциссы $\sqrt{\frac{a}{\rho}} = 6,16$ начинаем двигаться по вертикали вверх до пересечения с кривой 2. Затем налево проводим горизонтальную линию до пересечения с осью ординат. Точку пересечения соединяем с точкой $\sqrt{\frac{t}{\rho}} = 2,45$, находящейся на горизонтальной оси; при этом отсчет производим по ряду чисел v . Прямая касается круга, указывающего коэффициент концентрации $\alpha_s = 4,28$.

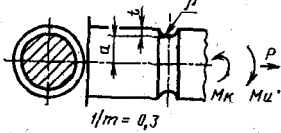
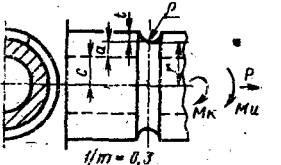
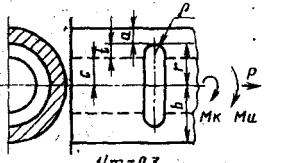
2. Пример использования номограммы для элементов с внешней выточкой и осевым отверстием при изгибе.

Дано: $\rho = 4$ мм; $a = 13$ мм; $t = 36$ мм; $r = 25$ мм.

Находим $\sqrt{\frac{t}{\rho}} = 3$; $\sqrt{\frac{a}{\rho}} = 1,80$; $\sqrt{\frac{r}{\rho}} = 2,50$.

Конструктивные случаи для определения теоретических коэффициентов концентрации α_σ и α_τ по номограмме (приложение 3, черт. 48, 49)

Вид выточки или надреза	Вид напряжения	Формулы номинального напряжения	Ряд чисел для параметра $\sqrt{\frac{t}{\rho}}$	Кривая для параметра $\sqrt{\frac{a}{\rho}}$	Кривая для параметра $\sqrt{\frac{r}{\rho}}$
	Растяжение	$\frac{P}{2da}$	b	1	—
	Изгиб	$\frac{3M_n}{2da^2}$	b	2	—
	Растяжение	$\frac{P}{da}$	b	3	—
	Изгиб	$\frac{6M_n}{da^2}$	b	4	—
	Растяжение	$\frac{P}{2da}$	b	5	—
	Изгиб	$\frac{3M_n \cdot t}{2d(b^3 - t^3)}$	a	5	—

Вид выточки или надреза	Вид напряжения	Формулы номинального напряжения	Ряд чисел для параметра $\sqrt{\frac{f}{\rho}}$	Кривая для параметра $\sqrt{\frac{a}{\rho}}$	Кривая для параметра $\sqrt{\frac{r}{\rho}}$
	Растяжение	$\frac{P}{\pi a^2}$	b	6	—
	Изгиб	$\frac{4M_k}{\pi a^3}$	b	7	—
	Кручение	$\frac{2M_k}{\pi a^3}$	a	9	—
	Растяжение	$\frac{P}{\pi(r^2 - c^2)}$	b	5	1
	Изгиб	$\frac{4M_k r}{\pi(r^4 - c^4)}$	b	5	2
	Кручение	$\frac{2M_k \cdot r}{\pi(r^4 - c^4)}$	a	10	4
	Растяжение	$\frac{P}{\pi(b^2 - r^2)}$	b	5	5
	Изгиб	$\frac{4M_k \cdot r}{\pi(b^4 - r^4)}$	b	5	6
	Кручение	$\frac{2M_k \cdot r}{\pi(b^4 - r^4)}$	a	10	8

Как указано в примере 1 при $\sqrt{\frac{t}{\rho}}$ (ряд чисел b) и $\sqrt{\frac{a}{\rho}}$ (кривая 5) на черт. 48 находим $\alpha'_s = 3,60$. Это будет теоретический коэффициент концентрации напряжений при большом осевом отверстии (α'_s) _{$r=\infty$} .

Теперь переходим к черт. 49 и смещаемся вверх по вертикали при значении $\sqrt{\frac{r}{\rho}} = 2,50$ до пересечения с кривой 2, затем налево по горизонтали до пересечения с осью. Точку пересечения соединяем с прямой (α_s) _{$r=\infty$} = 3,60, лежащей на другой оси. Круг, которого касается эта прямая, дает $\alpha_s = 2,08$.

1.4.3. При обработке результатов на ЭВМ коэффициенты концентрации напряжений α_s для деталей, указанных на черт. 20—22, 27 и 28 обязательного приложения 3, вычисляют по формуле

$$\alpha_s = 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{A}{t/\rho} + B \frac{(1+a/\rho)^2}{(a/\rho)^3} + \frac{C}{(t/\rho)^2} \cdot \frac{a/\rho}{(a/\rho+t/\rho)}}, \quad (25)$$

где коэффициенты A , B , C и Z определяют по табл. 3 ($a=d/2$ или $a=b/2$), а в остальных случаях α_s определяют по формулам, приведенным на черт. 1—3, 6—11, 14—19 обязательного приложения 3.

Примечание. Формула (25) является приближенной и дает отклонения до 10—20% в запас прочности.

Таблица 3
Значения коэффициентов для вычисления α_s по формуле (25)

Коэффициенты	Форма образца (детали)	Двусторонний надрез (выточка)			Ступенчатый переход по галтели		
		изгиб	растяжение	кручение	изгиб	растяжение	кручение
A	Круглый	0,20	0,22	0,7	0,62	0,62	3,4
	Плоский	0,20	0,22	—	0,50	0,50	—
B	Круглый	2,75	1,37	10,3	5,80	3,50	19,0
	Плоский	2,10	0,85	—	6,00	2,50	—
C	Круглый	—	—	—	0,20	—	1,0
Z		—	—	—	3,00	—	2,0

1.5. Определение значения относительного критерия подобия усталостного разрушения Θ

1.5.1. Относительный критерий подобия Θ вычисляют по формуле

$$\Theta = \frac{\frac{L}{\bar{G}}}{\left(\frac{L}{\bar{G}}\right)_0} = \frac{1}{88,3} \cdot \frac{L}{\bar{G}} \quad (26)$$

где $d_0 = 7,5$ мм; $\left(\frac{L}{\bar{G}}\right)_0 = \frac{\pi d_0^3}{2} = 88,3 \text{ мм}^2$; L выражается в мм, \bar{G} в мм^{-1} .

Значения функции $F(\Theta, \nu) = \frac{2}{1 + \Theta^{-\nu}}$ приведены в табл. 4 или черт. 1 обязательного приложения 4.

Значения функции $F(\Theta, \nu)$

Таблица 4

Θ	$\lg \Theta$	$F(\Theta, \nu) = \frac{2}{1 + \Theta^{-\nu}}$ при ν					
		0,01	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20
0,0032	-2,5	0,885	0,774	0,720	0,668	0,569	0,480
0,0100	-2,0	0,908	0,813	0,774	0,730	0,647	0,569
0,0316	-1,5	0,931	0,863	0,829	0,796	0,730	0,668
0,1000	-1,0	0,954	0,908	0,836	0,836	0,818	0,774
0,3162	-0,5	0,977	0,954	0,942	0,931	0,908	0,885
1,0000	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
3,1620	0,5	1,023	1,046	1,058	1,070	1,092	1,115
10,0000	1,0	1,046	1,092	1,115	1,137	1,182	1,226
31,6200	1,5	1,069	1,137	1,171	1,204	1,269	1,332
100,0000	2,0	1,092	1,182	1,226	1,269	1,353	1,430
316,2000	2,5	1,115	1,226	1,280	1,332	1,430	1,519
1000,0000	3,0	1,137	1,269	1,332	1,392	1,502	1,596
3162,0000	3,5	1,160	1,312	1,382	1,449	1,508	1,667
10000,0000	4,0	1,182	1,352	1,431	1,502	1,627	1,726

В формуле для определения $F(\Theta, \nu)$ параметр ν принимает значения ν_s при изгибе и растяжении — сжатии и ν_c при кручении.

1.6. Определение параметра L

1.6.1. При круговом изгибе или растяжении — сжатии, а также при кручении круглых стержней с кольцевыми канавками, с переходом от одного сечения к другому по галтели, с резьбой или гладких $L = \pi d$. При изгибе в одной плоскости круглых стержней $L = 0,08 \pi d$.

Если при растяжении — сжатии или изгибе деталей только часть периметра рабочего сечения прилагает к зоне повышенной напряженности, то L вычисляют по формулам, приведенным на черт. 2 обязательного приложения 4.

1.7. Определение относительного градиента первого главного или касательного напряжений $\overline{\sigma}$, $\overline{\sigma}_\tau$.

Относительные градиенты напряжений $\overline{\sigma}$, $\overline{\sigma}_\tau$ определяют по формулам, приведенным в табл. 1.

1.8. Определение коэффициентов чувствительности металла к концентрации напряжений и масштабному фактору v_σ и v_τ .

1.8.1. Значения v_σ , v_τ определяют по совокупности результатов испытаний на усталость образцов различных форм, размеров, уровней концентрации напряжений, изготовленных из металла одной плавки и испытанных при различных видах нагружения.

1.8.2. При отсутствии опытных данных для конструкционных сталей величину v_σ приближенно вычисляют по формуле

$$v_\sigma = 0,2000 - 0,0001 \cdot \sigma_b \quad (\sigma_b \text{ в МПа}). \quad (27)$$

При кручении для конструкционных сталей величину v_τ приближенно принимают равной

$$v_\tau = 1,5 \cdot v_\sigma. \quad (28)$$

1.9. Определение коэффициентов влияния шероховатости поверхности K_{F_σ} , K_{F_τ} .

1.9.1. Значения коэффициента K_{F_σ} , характеризующего снижение пределов выносливости при ухудшении качества обработки поверхности в зависимости от предела прочности и чистоты поверхности, для изгиба и растяжения — сжатия определяют по черт. 3 обязательного приложения 4 или вычисляют по формуле

$$K_{F_\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \lg R_z \left(\lg \frac{\sigma_b}{20} - 1 \right) (\sigma_b \text{ в МПа}). \quad (29)$$

1.9.2. Значения коэффициента K_{F_τ} вычисляют по формуле

$$K_{F_\tau} = 0,575 \cdot K_{F_\sigma} + 0,425. \quad (30)$$

1.10. Определение коэффициента $K_{кор}$.

1.10.1. Коэффициент $K_{кор}$, характеризующий снижение предела выносливости от влияния коррозии до испытания на усталость, приведен в зависимости от предела прочности на черт. 4 обязательного приложения 4.

На кривых указано количество дней, в течение которых образец подвергался воздействию коррозионной среды (пресной воды) до испытания на усталость.

1.10.2. Влияние коррозии при одновременном действии коррозионной среды и переменных напряжений представлено в виде зависимости коэффициента $K_{кор}$ от предела прочности стали на черт. 5 обязательного приложения 4.

1.10.3. Коэффициенты $K_{кор}$ соответствуют определенной частоте испытания и числу циклов, указанных в подрисуночных подписях. При других частотах и базах испытания следует вводить поправки в соответствии с экспериментальными данными.

1.11. Определение коэффициента влияния поверхностного упрочнения K_{σ} и коэффициента анизотропии K_A

1.11.1. Методика определения коэффициента влияния поверхностного упрочнения K_{σ} приведена в рекомендуемом приложении 5.

1.11.2. Коэффициенты анизотропии, приведенные в табл. 5, учитывают, если первое главное напряжение при изгибе и растяжении — сжатии направлено перпендикулярно направлению прокатки материала.

При кручении анизотропию не учитывают.

Таблица 5

Значения коэффициентов анизотропии K_A

σ_B , МПа	K_A
До 600	0,90
Св. 600 до 900	0,86
» 900 » 1200	0,83
» 1200	0,80

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЗАДАННОЙ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ $(\sigma_{-1d})_P$

2.1. При наличии достаточного объема статистической информации для оценки коэффициента вариации пределов выносливости деталей машин ($v_{\sigma_{-1d}}$ или $v_{\tau_{-1d}}$), используя вычисленное для заданной базы по формулам (1) или (4) медианное значение предела выносливости детали ($\overline{\sigma_{-1d}}$ или $\overline{\tau_{-1d}}$), определяют пределы выносливости детали на той же базе для любых заданных вероятностей разрушения P в предположении справедливости нормального закона распределения по формулам:

$$(\sigma_{-1d})_P = \overline{\sigma_{-1d}} \cdot (1 + z_p \cdot v_{\sigma_{-1d}}); \quad (31)$$

$$(\tau_{-1d})_P = \overline{\tau_{-1d}} \cdot (1 + z_p \cdot v_{\tau_{-1d}}), \quad (32)$$

где z_p — квантиль нормального распределения, соответствующая заданной вероятности разрушения P .

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВАРИАЦИИ ПРЕДЕЛОВ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ

3.1. Коэффициент вариации предела выносливости детали вычисляют по формуле

$$v_{\sigma_{-1d}} = \frac{S_{\sigma_{-1d}}}{\bar{\sigma}_{-1d}}, \quad (33)$$

где $S_{\sigma_{-1d}}$ и $\bar{\sigma}_{-1d}$ — среднее квадратическое отклонение и среднее (на совокупности всех плавков) значение предела выносливости детали соответственно.

Результирующий коэффициент вариации предела выносливости детали при отсутствии сварки, поверхностного упрочнения и при стабильной технологии вычисляют по формуле

$$v_{\sigma_{-1d}} = \sqrt{v_{\sigma_{\max}}^2 + v_{\sigma_{-1}}^2 + v_{\alpha_{\sigma}}^2}, \quad (34)$$

где $v_{\sigma_{\max}}$ — коэффициент вариации максимальных разрушающих напряжений в зоне концентрации, соответствующий пределам выносливости деталей (при испытании идентичных деталей, изготовленных из металла одной плавки), связанный со структурной неоднородностью металла (наличием различных фаз, включений, искажений кристаллической решетки и т. д.);

$v_{\sigma_{-1}}$ — коэффициент вариации средних (в пределах одной плавки) значений пределов выносливости гладких лабораторных образцов диаметром 7,5 мм, учитывающий межплавочное рассеяние механических свойств металла и вычисляемый по формуле

$$v_{\sigma_{-1}} = \frac{S_{\sigma_{-1}}}{\bar{\sigma}_{-1}}, \quad (35)$$

где

$$S_{\sigma_{-1}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{\sigma}_{-1i} - \bar{\sigma}_{-1})^2}; \quad (36)$$

$$\bar{\sigma}_{-1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{\sigma}_{-1i}, \quad (37)$$

$\bar{\sigma}_{-1i}$ — значение $\bar{\sigma}_{-1}$ для i -й плавки; n — число плавков;
 $V_{\alpha_{\sigma}}$ — коэффициент вариации теоретического коэффициента концентрации напряжений α_{σ} , учитывающий отклонения фактических размеров деталей (особенно в зонах концентрации напряжений) от номинальных (в пределах допусков).

При нестабильной технологии, неоднородности свойств металла, наличии остаточных напряжений и технологических дефектов коэффициенты вариации предела выносливости деталей $v_{\sigma_{1a}}^{\sigma}$ определяют путем проведения усталостных испытаний деталей.

3.2. Определение коэффициентов вариации $v_{\sigma_{\max}}^{\sigma}$

3.2.1. При достаточно стабильной технологии, однородности свойств металла в объеме детали, отсутствии остаточных напряжений коэффициенты вариации максимальных разрушающих напряжений $V_{\sigma_{\max}}^{\sigma}$ вычисляют по формуле

$$v_{\sigma_{\max}}^{\sigma} = \frac{0,1}{1 + \theta^{\sigma}} \quad (38)$$

3.3. Определение коэффициентов вариации $V_{\sigma_{-1}}^{\sigma}$

Коэффициент $V_{\sigma_{-1}}^{\sigma}$ определяют по статистическим данным о межплавочном рассеянии пределов выносливости по формулам (35)—(37).

Если данных по межплавочному рассеянию величин σ_{-1} нет, то, учитывая практически линейную зависимость между пределами выносливости и пределами прочности, в первом приближении допускают

$$v_{\sigma_{-1}}^{\sigma} = v_{\sigma_B}^{\sigma}$$

где $v_{\sigma_B}^{\sigma}$ — коэффициент вариации предела прочности металла на множестве всех плавов ($v_{\sigma_B}^{\sigma} = 0,04—0,10$).

3.4. Определение коэффициентов вариации v_{σ}^{ρ}

3.4.1. Колебания радиусов кривизны в зоне концентрации напряжений ρ характеризуются коэффициентами вариации v_{ρ} . Коэффициенты вариации находят по результатам измерения партии деталей (не менее 30—50 шт.) в условиях производства.

3.4.2. Среднее значение $\bar{\rho}$, среднее квадратическое отклонение s_{ρ} радиуса кривизны ρ и коэффициент вариации v_{ρ} вычисляют по формулам:

$$\bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i; \quad (39)$$

$$s_{\rho} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2}; \quad (40)$$

$$v_{\rho} = \frac{s_{\rho}}{\bar{\rho}} \quad (41)$$

Зависимость α_σ от ρ представляют функцией

$$\alpha_\sigma = \varphi(\rho). \quad (42)$$

Коэффициент вариации v_{α_σ} вычисляют по формуле

$$v_{\alpha_\sigma} = \left| \frac{\partial \varphi}{\partial \rho} \right|_0 \cdot \frac{\bar{\rho}}{\alpha_\sigma} \cdot v_\rho, \quad (43)$$

где $\bar{\alpha}_\sigma$ — среднее значение α_σ , соответствующее $\bar{\rho} = \bar{\rho}$;
 $\left. \frac{\partial \varphi}{\partial \rho} \right|_0$ — абсолютное значение производной, которое соответствует средним значениям определяющих параметров.

3.4.3. Для нахождения производной в выражении (43) допускается осуществлять линейную аппроксимацию функции (42) в окрестности заданных значений параметров, используя уравнение прямой, проходящей через две точки.

$$\frac{\alpha_\sigma - \alpha_{\sigma_1}}{\alpha_{\sigma_2} - \alpha_{\sigma_1}} = \frac{\frac{\rho}{d} - \left(\frac{\rho}{d}\right)_1}{\left(\frac{\rho}{d}\right)_2 - \left(\frac{\rho}{d}\right)_1}, \quad (44)$$

где $\frac{\rho}{d}$ — заданное значение отношения параметров ρ и d (вместо ρ/d может быть ρ/t и т. п.);

$\left(\frac{\rho}{d}\right)_2 > \frac{\rho}{d}$ и $\left(\frac{\rho}{d}\right)_1 < \frac{\rho}{d}$ — отношения $\frac{\rho}{d}$, близкие к заданному значению;

α_{σ_2} и α_{σ_1} — значения α_σ , соответствующие $(\rho/d)_2$ и $(\rho/d)_1$.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИВЫХ УСТАЛОСТИ m и N_G И КОЭФФИЦИЕНТОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К АСИММЕТРИИ ЦИКЛА НАПРЯЖЕНИЙ Ψ_σ И Ψ_ϵ

4.1. Для расчета на прочность левую наклонную часть кривой усталости представляют в виде

$$\sigma^m \cdot N = \sigma_{-1d}^m \cdot N_G, \quad (45)$$

где m — показатель наклона кривой усталости в двойных логарифмических координатах;

N_G — абсцисса точки перелома кривой усталости.

4.2. Величина N_G в большинстве случаев колеблется в пределах $N_G = 10^6 - 3 \cdot 10^6$ циклов. В расчетах на прочность при переменных напряжениях, когда отсутствуют данные натуральных усталостных испытаний, принимают в среднем $N_G = 2 \cdot 10^6$ циклов.

4.3. Величины m для деталей изменяются в пределах 3—20, при этом с ростом коэффициента снижения предела выносливости

K уменьшается m . Зависимость между K и m принимают приближенно в виде:

$$m = \frac{C}{K}, \quad (46)$$

где $C = 5 + \frac{\sigma_b}{80}$ (σ_b в МПа). (47)

4.4. Значения Ψ_σ и Ψ_τ вычисляют по формулам:

$$\Psi_\sigma = 0,02 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_b; \quad (48)$$

$$\Psi_\tau = 0,01 + 10^{-4} \cdot \sigma_b, \quad (49)$$

где σ_b в МПа.

Для деталей с концентрацией напряжений коэффициенты влияния асимметрии цикла Ψ_{σ_d} и Ψ_{τ_d} вычисляют по формулам:

$$\Psi_{\sigma_d} = \frac{\Psi_\sigma}{K}; \quad \Psi_{\tau_d} = \frac{\Psi_\tau}{K}, \quad (50)$$

где K — коэффициент, определяемый по формулам (2), (5).

Для легированных сталей допускается вычислять коэффициенты Ψ_{σ_d} и Ψ_{τ_d} по формулам:

$$\Psi_{\sigma_d} = \frac{\sigma_{-1d}}{2\sigma_b - \sigma_{-1d}}; \quad (51)$$

$$\Psi_{\tau_d} = \frac{\tau_{-1d}}{2\sigma_b - \tau_{-1d}}. \quad (52)$$

4.5. Предельные амплитуды для деталей при асимметричном цикле нагружения вычисляют по формулам:

$$\sigma_{ад} = \sigma_{-1d} - \Psi_{\sigma_d} \cdot \sigma_m; \quad (53)$$

$$\tau_{ад} = \tau_{-1d} - \Psi_{\tau_d} \cdot \tau_m. \quad (54)$$

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

5.1. Расчет малоциклового долговечности выполняется на основе анализа местных деформаций. К малоцикловой относят область чисел циклов до разрушения $< 5 \cdot 10^4 - 10^5$, когда становится выраженным упругопластический характер деформированного состояния конструкции. Рассматривают условия нагружения, при которых максимальные деформации достигают 0,5—1 %.

5.2. При определении малоциклового долговечности и оценке накопления повреждений должны быть следующие данные:

циклические упругопластические и односторонне накопленные деформации в максимально напряженных зонах конструкции;
располагаемая пластичность материала ϵ_f ;

кривая малоциклового усталости конструкционного материала ($N = f(\epsilon)^{(k)}$).

5.3. Определение напряжений и деформаций

5.3.1. Напряженно-деформированное состояние и его поцикловое изменение в максимально напряженных зонах конструкции определяют расчетным или экспериментальным методами, в том числе по данным тензометрических измерений на моделях и натурных конструкциях для заданных или эквивалентных нагрузок.

5.3.2. Расчетное определение напряженно-деформированного состояния элементов конструкций выполняется решением соответствующих задач малоциклового нагружения в циклической упруго-пластической постановке либо в замкнутой форме, либо численными методами.

5.3.3. Для приближенных оценок малоциклового прочностного элементов конструкций, работающих при нагрузках, вызывающих в зонах концентрации напряжений выход материала за пределы упругости, определение деформаций и напряжений приближенно производят с использованием интерполяционных зависимостей типа

$$K_{\sigma}^{(0)} \cdot K_{\epsilon}^{(0)} = \alpha_{\sigma}^2, \quad (k=0); \quad (55)$$

$$K_S^{(k)} \cdot K_{\epsilon}^{(k)} = \alpha_{\sigma}^2, \quad (k=1 \dots), \quad (56)$$

где $K_{\sigma}^{(0)} = \frac{\sigma_{\max}^{(0)}}{\sigma_H}$ — упругопластический коэффициент концентрации напряжений;

$K_{\epsilon}^{(0)} = \frac{\epsilon_{\max}^0}{\epsilon_H}$ — упругопластический коэффициент концентрации деформаций;

$K_S^{(k)} = \frac{S_{\max}^{(k)}}{S_H}$ — циклический упругопластический коэффициент концентрации напряжений;

$K_{\epsilon}^{(k)} = \frac{\epsilon_{\max}^{(k)}}{\epsilon_H}$ — циклический упругопластический коэффициент концентрации деформаций.

Зависимость используется для $\alpha_{\sigma} \leq 3,5$. При больших значениях α_{σ} применение формулы дает результаты, идущие в запас прочности.

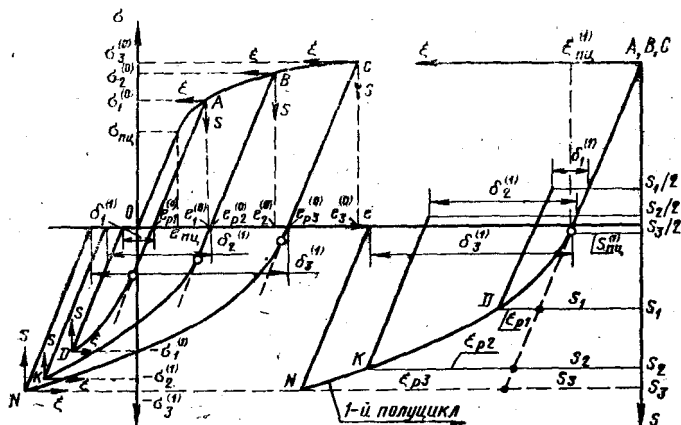
Для вычисления значения циклических упругопластических коэффициентов концентрации $K_S^{(k)}$ и $K_{\epsilon}^{(k)}$, кроме известных значений теоретического коэффициента концентрации α_{σ} , необходимо знать зависимость напряжения от деформации при циклическом упруго-пластическом деформировании.

5.4. Определение диаграмм статического и циклического деформирования

5.4.1. Диаграмма статического и циклического деформирования характеризует зависимость напряжения от деформации при статическом или циклическом нагружении. Диаграммы деформирования определяют по данным испытаний при статическом или циклическом нагружении, проводимых по ГОСТ 25.502—79 и ГОСТ 1497—73.

5.4.2. Аналитически диаграммы циклического деформирования интерпретируют в форме обобщенной диаграммы циклического деформирования. Обобщенная диаграмма циклического деформирования отражает зависимость напряжения от деформации по параметру числа полциклов нагружения. Диаграмма рассматривается в координатах $S—\epsilon$ (черт. 1). Основное свойство обобщенной диаграммы заключается в том, что для мягкого, жесткого и промежуточных между мягким и жестким нагружениями все конечные и текущие точки диаграмм деформирования k -го полцикла нагружения, полученные при различных уровнях исходных деформаций, укладываются на одну и ту же для данного полцикла нагружения кривую. Схема обобщенной диаграммы деформирования приведена на черт. 1.

Схема обобщенной диаграммы циклического деформирования



Черт. 1

Исходное нагружение происходит в соответствии с диаграммой статического деформирования O, A, B, C , рассматриваемой в координатах $\sigma—\epsilon$ с началом в точке O . Процесс исходного нагружения доводится до определенного значения напряжений и деформаций, например, до состояний A, B, C . Таким образом напряжения исходного нагружения составят $\sigma_1^{(0)}, \sigma_2^{(0)}$ и $\sigma_3^{(0)}$, а деформации —

$e_1^{(0)}$, $e_2^{(0)}$ и $e_3^{(0)}$ соответственно. После разгрузки, происходящей в соответствии с модулем упругости материала, остаются величины пластических деформаций $e_{p1}^{(0)}$, $e_{p2}^{(0)}$ и $e_{p3}^{(0)}$. Исходное нагружение и разгрузка образуют нулевой ($k=0$) полуцикл нагружения.

Реверс нагружения происходит по своей для каждой степени исходного нагружения диаграмме деформирования, достигая, например, состояний D , K , N , соответствующих напряжениям $-\sigma_1^{(1)}$, $-\sigma_2^{(1)}$ и $-\sigma_3^{(1)}$, причем для симметричного цикла мягкого нагружения $|\sigma_1^{(1)}| = |\sigma_1^{(0)}|$, $|\sigma_2^{(1)}| = |\sigma_2^{(0)}|$ и $|\sigma_3^{(1)}| = |\sigma_3^{(0)}|$. Реверсивное нагружение и последующая разгрузка образуют первый ($k=1$) полуцикл нагружения, а совокупность нулевого и первого полуциклов — первый ($N=1$) цикл нагружения.

Обобщенная диаграмма циклического деформирования строится для каждого отдельного полуцикла нагружения в координатах $S-\epsilon$ с началом в точке разгрузки и для каждого рассматриваемого состояния нагружения. Для первого ($k=1$) полуцикла нагружения (при исходных уровнях напряжений $\sigma_1^{(0)}$, $\sigma_2^{(0)}$ и $\sigma_3^{(0)}$) начало координат $S-\epsilon$ помещается в точках A , B , C . При этом кривая деформирования рассматриваемого полуцикла включает участок нагружения этого полуцикла и участок разгрузки предыдущего.

Для построения обобщенной диаграммы циклического деформирования точки начала разгрузки для данного полуцикла нагружения совмещаются. На правой части черт. 1 для $k=1$ точки A , B , C совмещены и образована единая зависимость между напряжениями и деформациями A , B , C , D , K , N .

Аналогичные построения делают и для последующих полуциклов нагружения. В общем случае, в связи с процессами циклического упрочнения или разупрочнения материала, обобщенные диаграммы деформирования для различных полуциклов нагружения отличаются друг от друга. Обобщенная диаграмма циклического деформирования оказывается неизменной (начиная с $k=1$) только для циклически стабильных материалов.

5.4.3. Для приближенных расчетов допускается использовать диаграммы циклического деформирования, образуемые удвоением статической диаграммы деформирования материала.

5.4.4. Аппроксимация диаграмм деформирования выполняется для расчетных приложении степенными функциями:

$$\frac{\sigma^{(0)}}{\sigma_{\text{пц}}^{(0)}} = \left(\frac{e^{(0)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} \right)^{m^{(0)}} \quad \text{и} \quad \frac{S^{(k)}}{\sigma_{\text{пц}}^{(0)}} = \left(\frac{\epsilon^{(k)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} \right)^{m^{(k)}} \quad (57)$$

(при $\sigma^{(0)} > \sigma_{\text{пц}}^{(0)}$ и $S^{(k)} > 2\sigma_{\text{пц}}^{(0)}$,

где $\sigma_{\text{пц}}^{(0)}$ и $e_{\text{пц}}^{(0)}$ — напряжение и деформация предела пропорциональности материала при статическом нагружении;