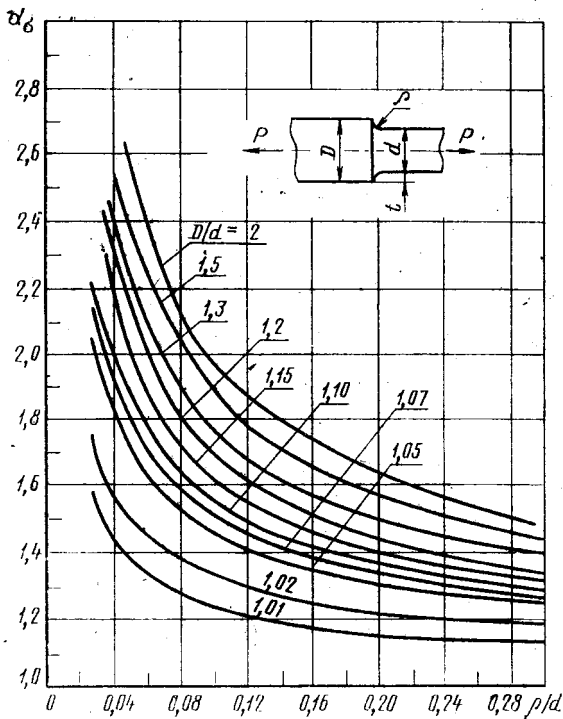


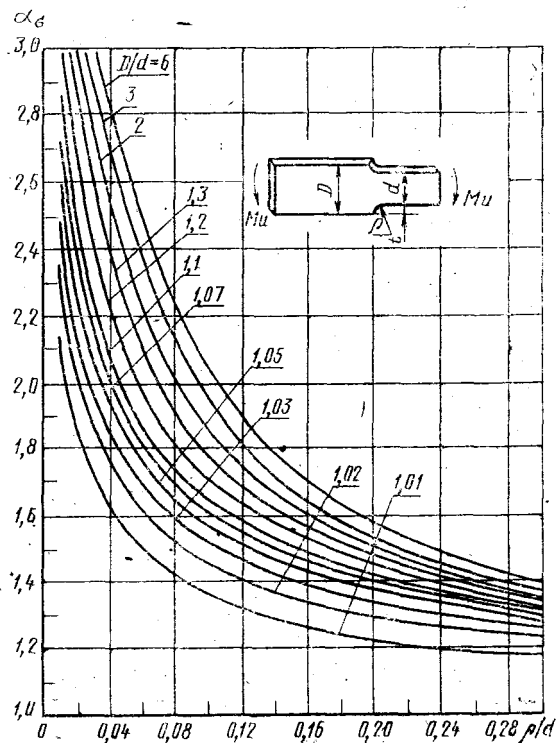
Ступенчатый вал с галтелью при растяжении
(сжатии)



$$\alpha_s = 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{0,62}{t/\rho} + 3,50 \frac{(1+a/\rho)^2}{(a/\rho)^3}}} \quad \text{при } t/\rho > 1$$

Черт. 21

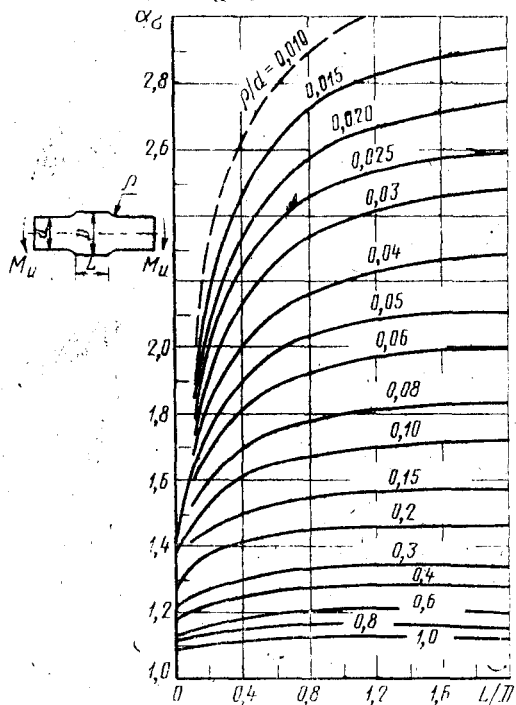
Ступенчатая пластина с галтелями при изгибе
(по данным поляризационно-оптических измерений)



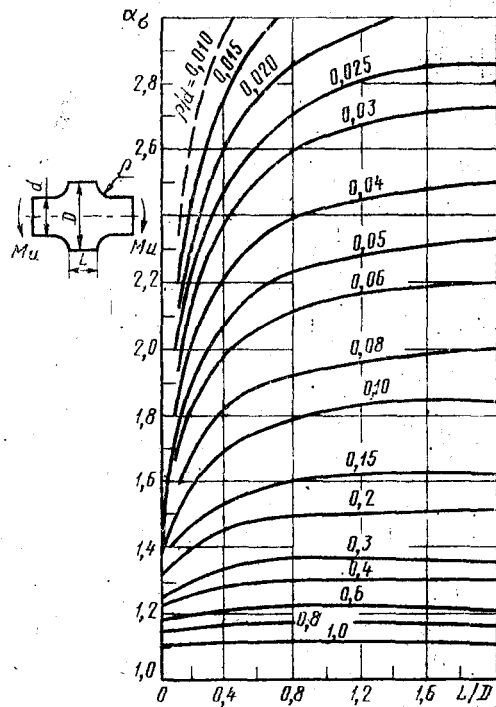
$$\alpha_s = 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{0,5}{t/\rho} + 6,0 \frac{(1+a/\rho)^2}{(a/\rho)^3}}} \quad \text{при } t/\rho > 1$$

Черт. 22

Влияние длины выступа пластины на коэффициент концентрации напряжений для ступенчатой пластины с галтелями при изгибе
(черт. 23—25)

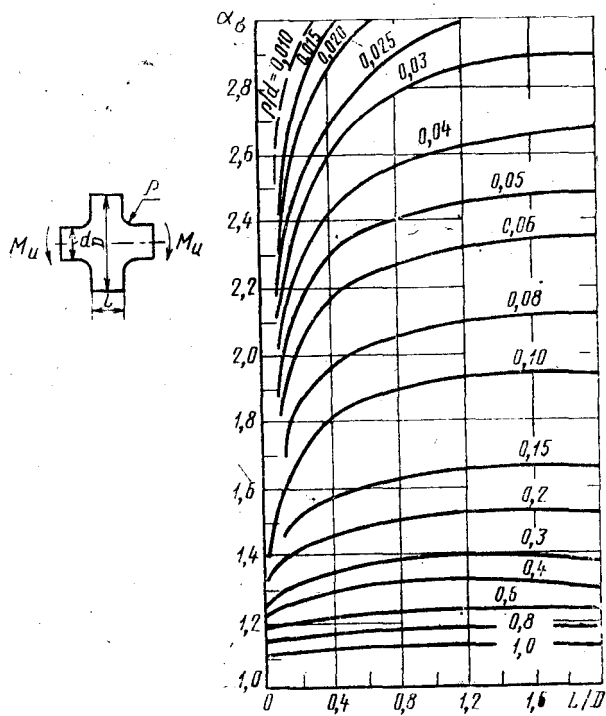


$D/d = 1,25$
Черт. 23

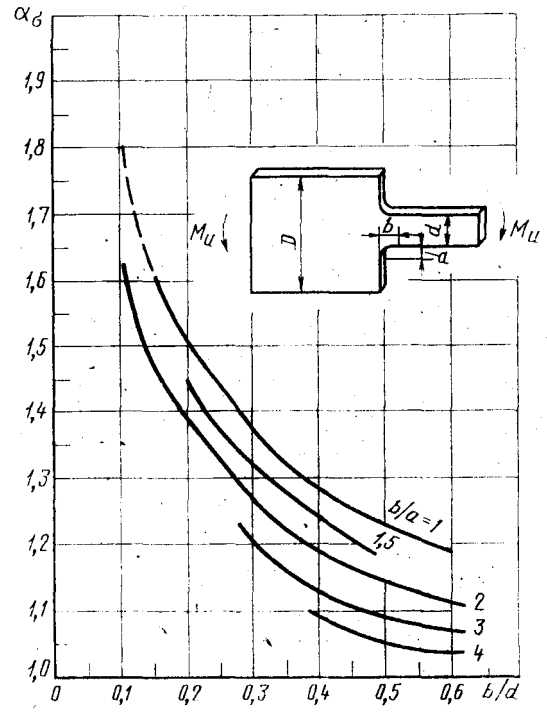


$D/d = 2$
Черт. 24

Ступенчатая пластина с эллиптической галтелью при изгибе

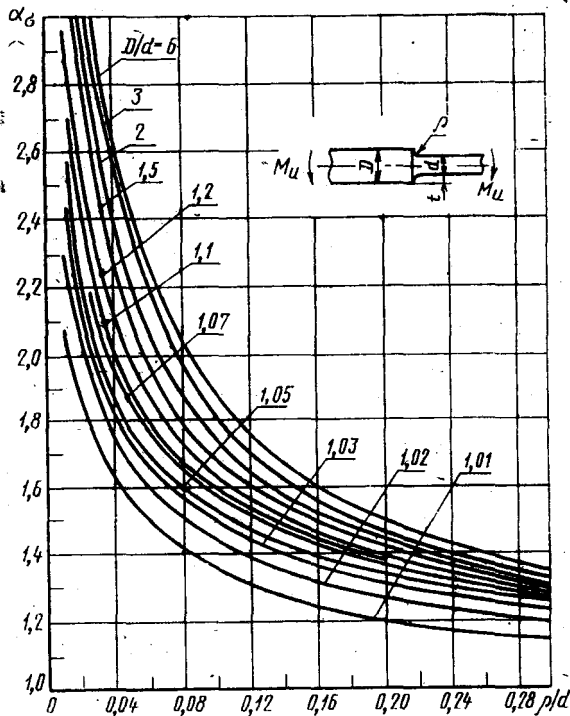


$D/d = 3$
Черт. 25



$D/d = 3$ (по данным поляризационно-оптических измерений)
Черт. 26

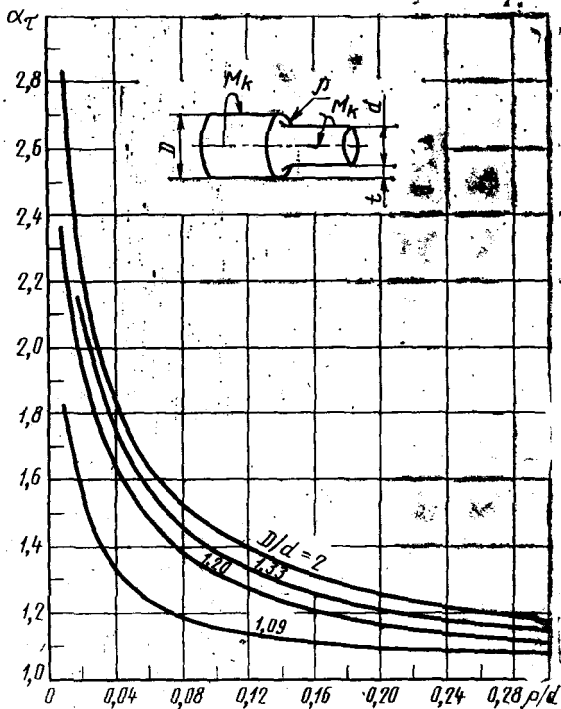
Ступенчатый вал с галтелью при изгибе



$$\alpha_s = 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{0,62}{t/\rho} + 5,80 \frac{(1+a/\rho)^2}{(a/\rho)^3} + \frac{0,2}{(t/\rho)^3} \cdot \frac{a/\rho}{(a/\rho+t/\rho)}}}$$

Черт. 27

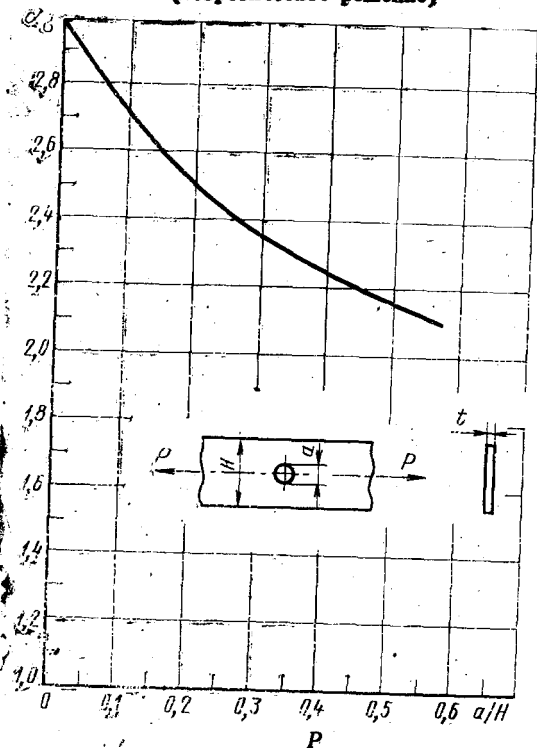
Ступенчатый вал с галтелью при кручении
(измерения по методу электрических аналогий)



$$\alpha_\tau = 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{3.4}{t/\rho} + 19.0 \frac{(1+a/\rho)^3}{(a/\rho)^3} + \frac{1.0}{(t/\rho)^2} \cdot \frac{a/\rho}{(a/\rho+t/\rho)}}}$$

Черт. 28

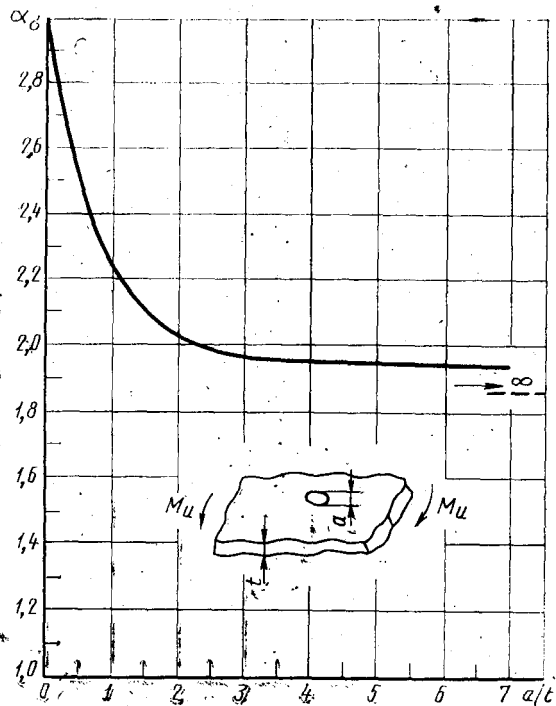
Тонкая пластина ограниченной ширины с поперечным отверстием при растяжении
(теоретическое решение)



$$\sigma_H = \frac{P}{(H-a)t}$$

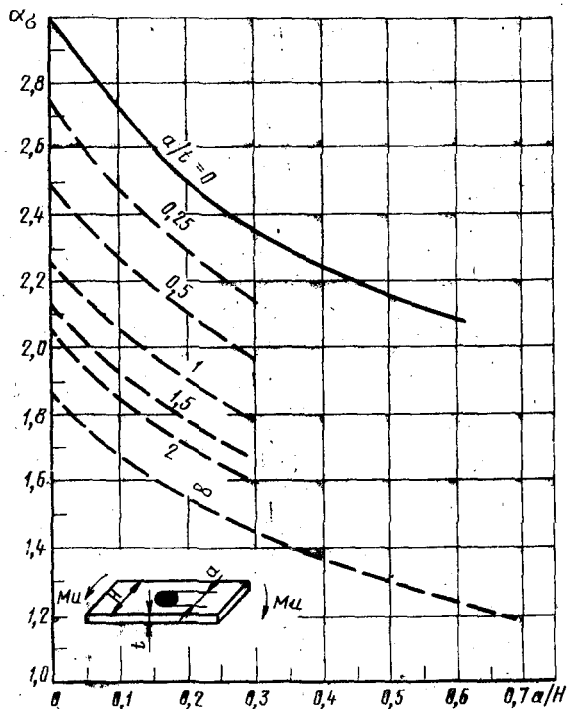
Черт. 29

Тонкая пластина неограниченной ширины с поперечным отверстием при изгибе
(теоретическое решение)



Черт. 30

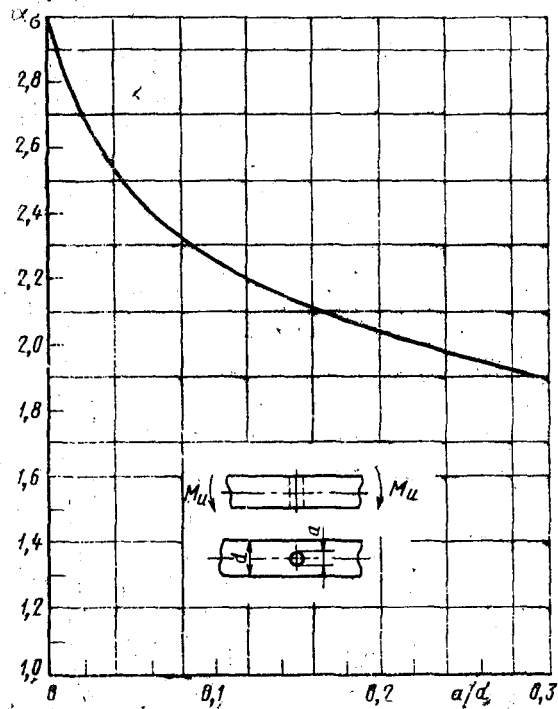
Тонкая пластина ограниченной ширины с поперечным отверстием при изгибе



$$\sigma_{\text{н}} = \frac{6M_{\text{н}}}{(H-a)t^2}$$

Черт. 31

Вал с поперечным отверстием при изгибе
(измерения с помощью тензометров)

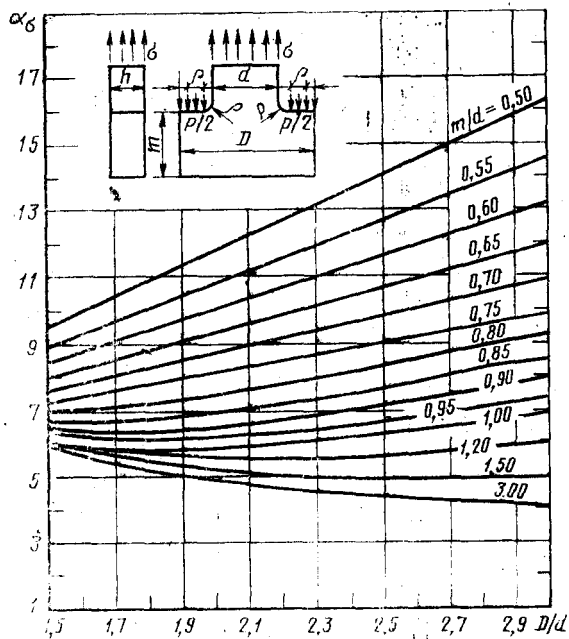


$$\sigma_{\text{н}} = \frac{M_{\text{н}}}{\frac{\pi d^3}{32} - \frac{a d^2}{6}}$$

Черт. 32

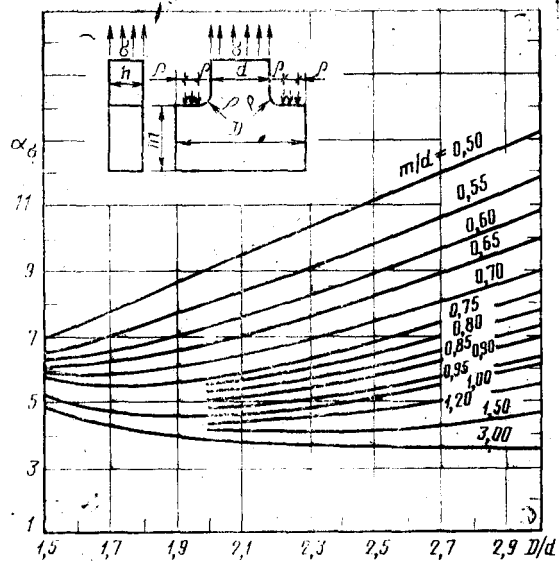
Пластины с Т-образной головкой

$$\alpha_s = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma}; \sigma = \frac{P}{hd} \quad (\text{черт. 33-37})$$



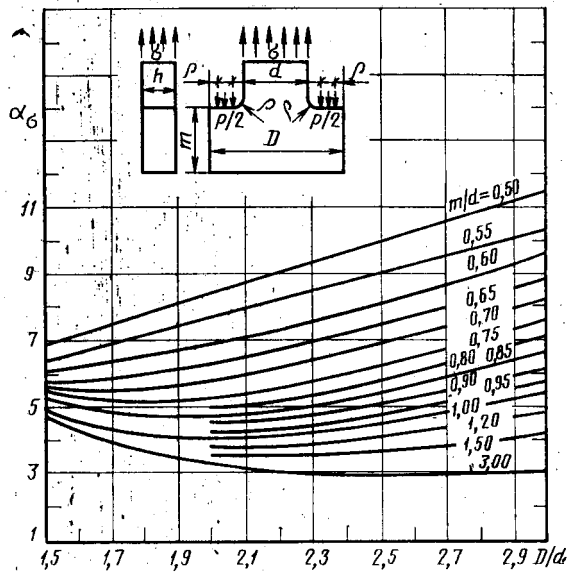
$q/d = 0,050$ (измерения с помощью поляризационно-оптического метода)

Черт. 33

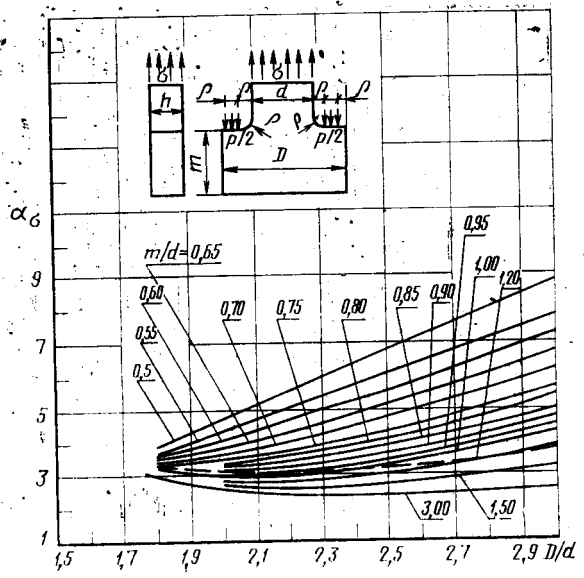


$q/d = 0,075$

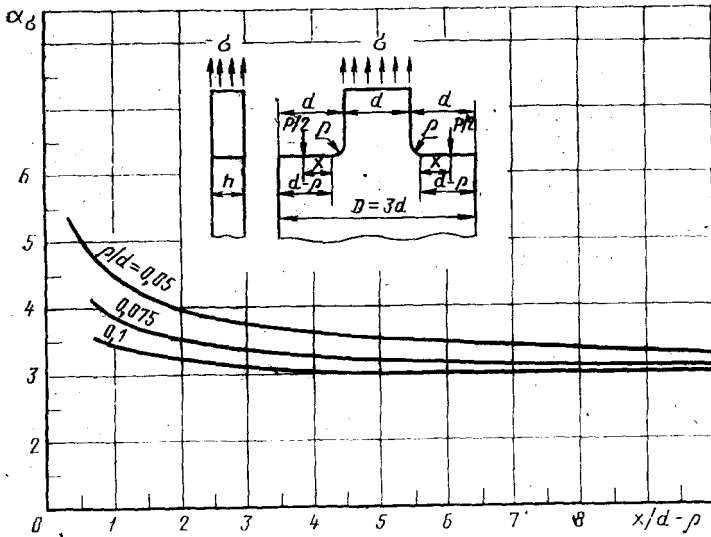
Черт. 34



$q/d = 0,1$
 Черт. 35°



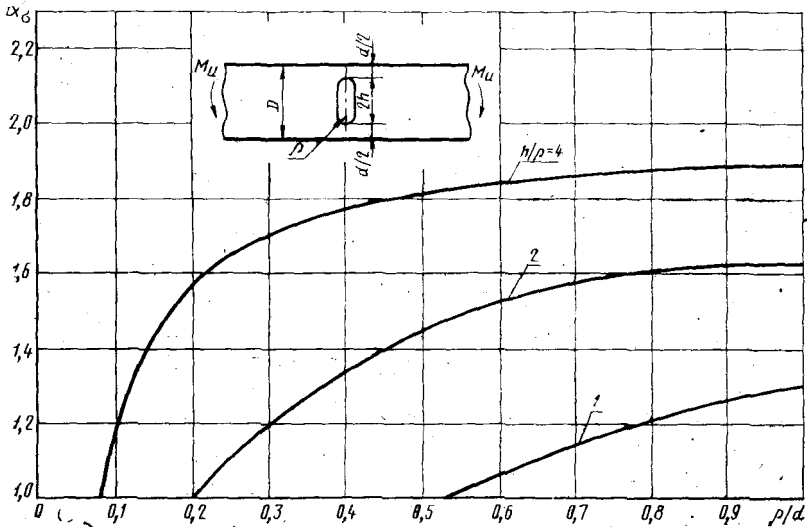
$q/d = 0,200$
 Черт. 36



Примечание. Координата точки приложения сосредоточенной силы $P/2$ по оси X-переменная

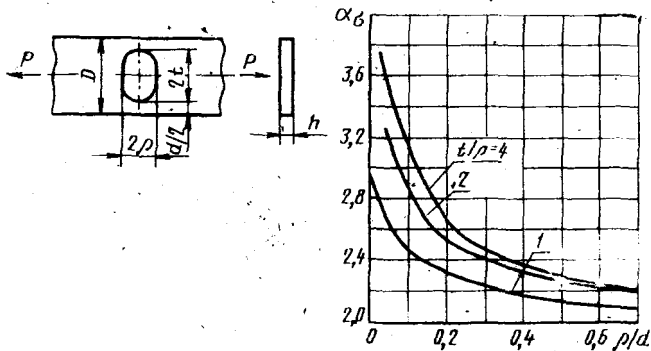
Черт. 37

Пластина с поперечной прорезью при изгибе



Черт. 38

Пластина с поперечной прорезью при растяжении

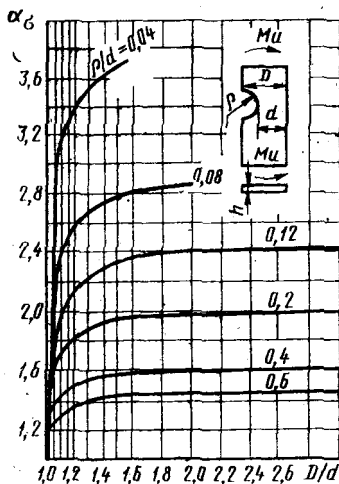


$$\sigma_n = \frac{P}{h(D-2t)}$$

$$\alpha_\sigma = 2 \text{ при } \rho/d \rightarrow \infty$$

Черт. 39

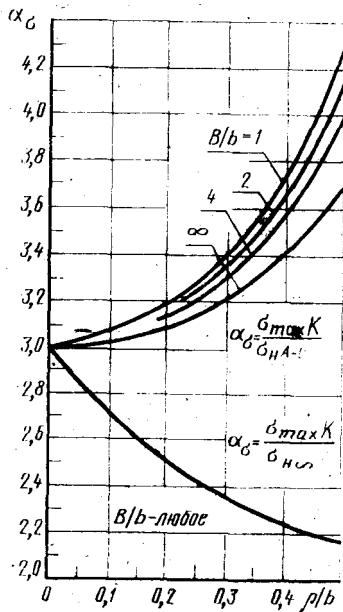
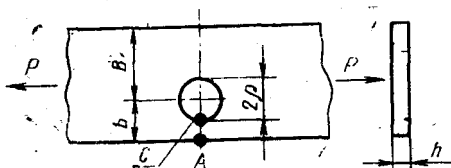
Пластина с односторонним надрезом при изгибе



$$\sigma_n = \frac{M_n}{(1/6)d^2h}$$

Черт. 40

Пластина с эксцентрично расположенным отверстием
толщиной h при растяжении

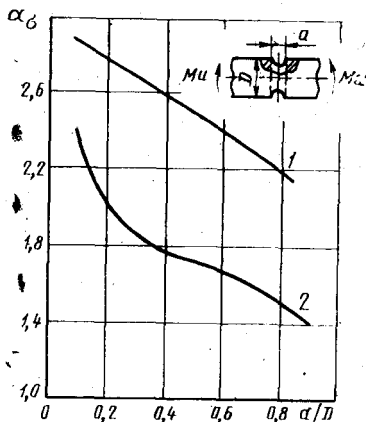


$$\sigma_{H\infty} = \frac{P}{h(B+b)}$$

$$\sigma_{H A-C} = \sigma_{H\infty} \frac{\sqrt{1-(\rho/b)^2}}{\left(1 - \frac{\rho}{b}\right) \left[1 - \frac{b}{B} (1 - \sqrt{1-(\rho/b)^2})\right]}$$

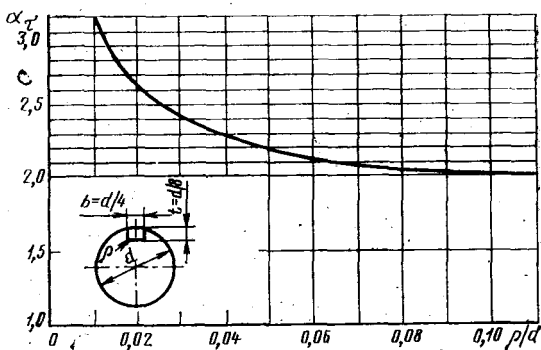
Черт. 41

Вал с поперечным отверстием при растяжении (1) и изгибе (2)



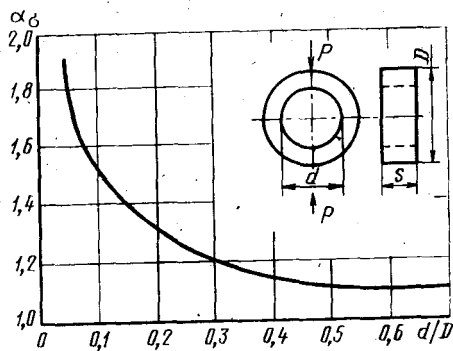
Черт. 42

Вал с пазом для призматической шпонки при кручении



Черт. 43

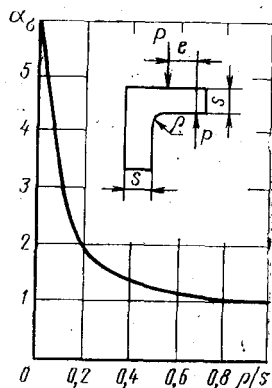
Кольцо с наружной единичной нагрузкой P



$$\sigma_H = \frac{3P(D+d)}{\pi S(D-d)^2}$$

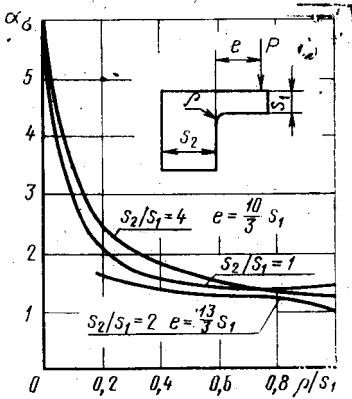
Черт. 44

Уголок с равными по толщине полками при изгибающем моменте P.e



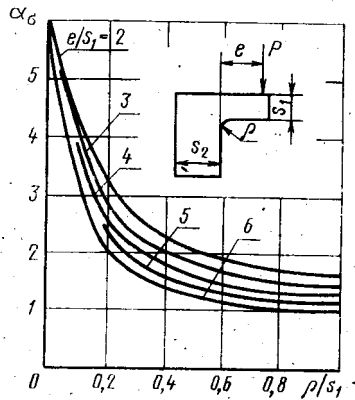
Черт. 45

Уголок с неравными по толщине полками при изгибе от единичной нагрузки P



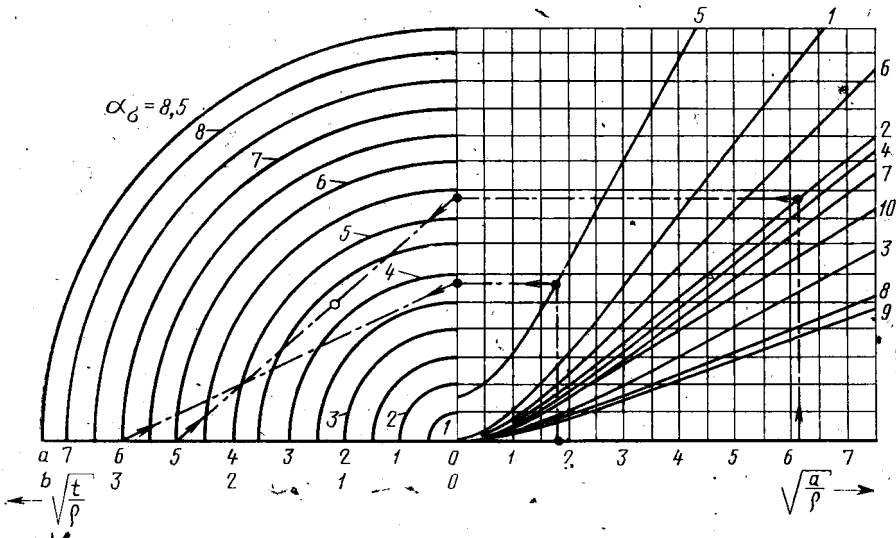
Черт. 46

Уголок с приблизительно равными по толщине полками при изгибе от единичной нагрузки P



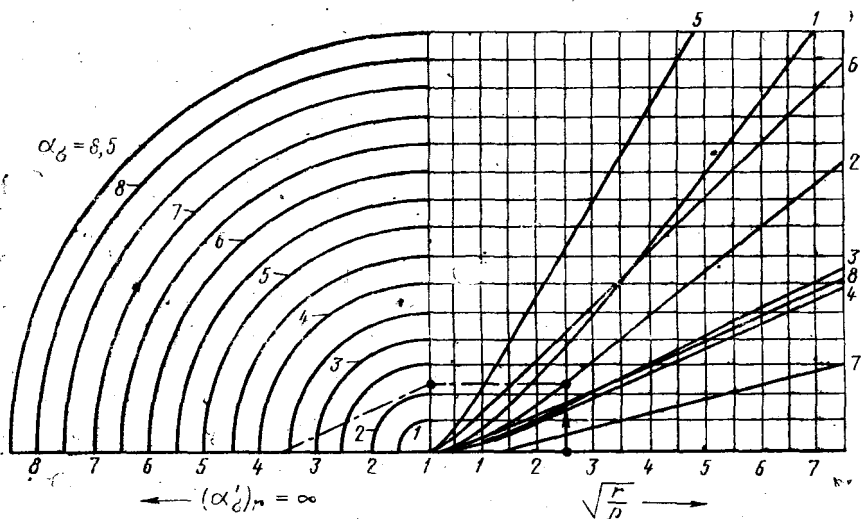
Черт. 47

Номограмма для определения теоретического коэффициента концентрации



Черт. 48

Номограмма для кольцевых выточек с осевым отверстием

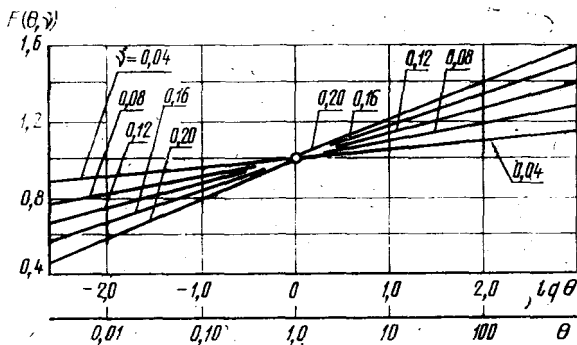


Черт. 49

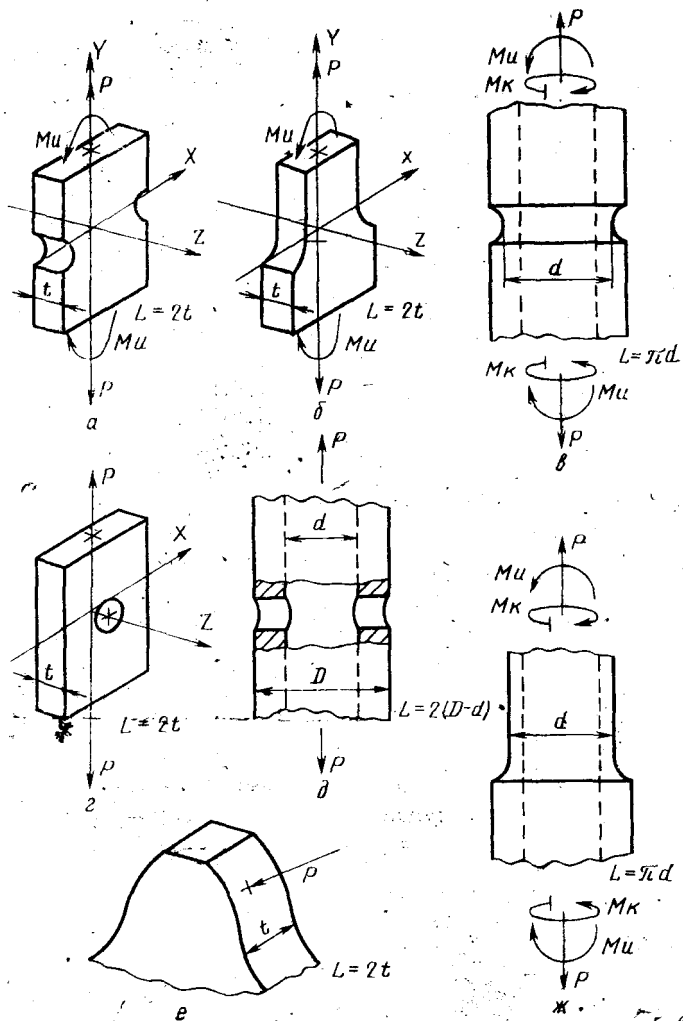
ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Обязательное ~

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИИ $F(\theta, \nu)$, ПАРАМЕТРА L , КОЭФФИЦИЕНТА ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ K_F И КОЭФФИЦИЕНТА $K_{кор}$

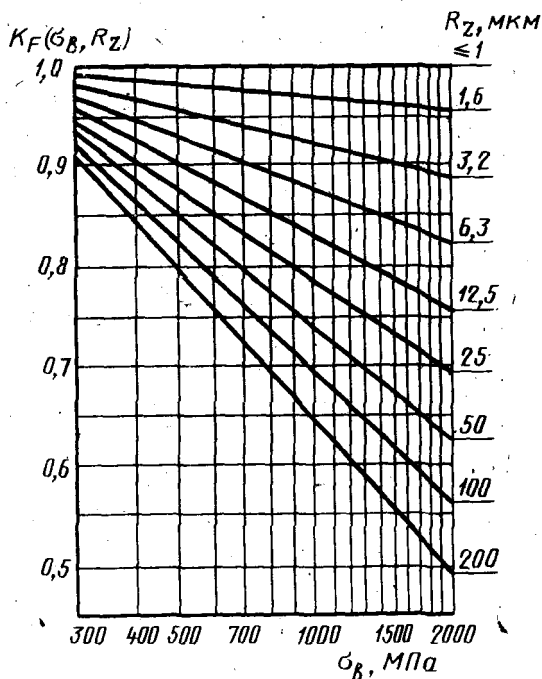
Значения функции $F(\theta, \nu)$



Черт. 1

Схемы к определению параметра L 

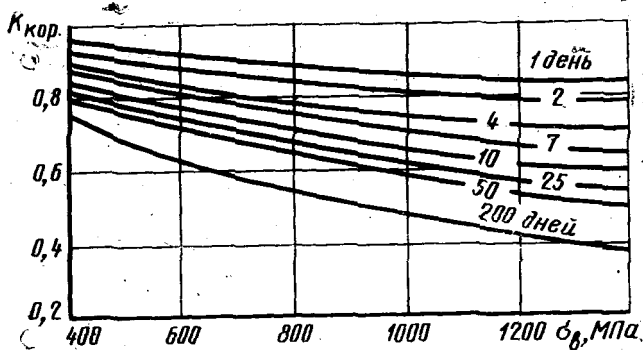
Черт. 2

Значения коэффициентов K_F 

Черт. 3

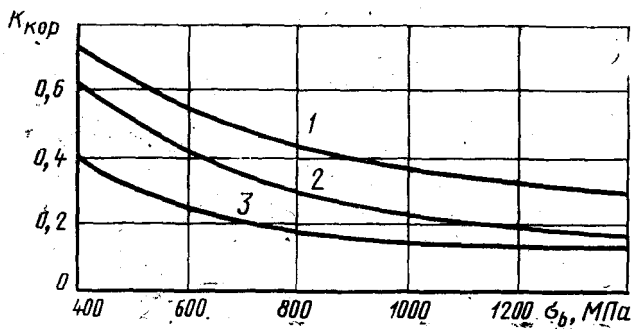
Примечание. При наличии окислы используют нижнюю прямую ($R_z = 200$ мкм).

Влияние коррозии до испытания на усталость на предел выносливости стальных образцов (при изгибе с вращением на базе 10^7 циклов при частоте нагружения 30—50 Гц)



Черт. 4

Влияние коррозии в процессе испытания на предел
выносливости стальных образцов при изгибе с вращением
(осредненные кривые) на базе 10^7 циклов
при частоте нагружения 30—50 Гц



1—пресная вода (наличие концентрации напряжений); 2—пресная вода (отсутствие концентрации напряжений); 3—морская вода (отсутствие концентрации напряжений)

Черт. 5

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ
ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ K_V**

1. Коэффициенты влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости вычисляют по формуле

$$K_V = \frac{\sigma_{-1д \text{ упр}}}{\sigma_{-1д}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{-1д \text{ упр}}$ — предел выносливости упрочненных деталей;

$\sigma_{-1д}$ — предел выносливости неупрочненных деталей.

Средние значения K_V для различных методов поверхностного упрочнения образцов из углеродистых и легированных конструкционных сталей приведены в табл. 1—3.

Таблица 1
Влияние поверхностной закалки токами высокой частоты
(изгиб с вращением, глубина закаленного слоя 0,9—1,5 мм)

Вид образца	K_V для образца диаметром	
	7—20 мм	30—40 мм
Без концентрации напряжений	1,3—1,6	1,2—1,5
С концентрацией напряжений	1,6—2,8	1,5—2,5

Таблица 2
Влияние химико-термической обработки

Характеристика химико-термической обработки	Вид образца	K_V для образцов диаметром		
		8—15 мм	10 мм	30—40 мм
Азотирование при глубине слоя 0,1—0,4 мм, твердости слоя HB 730—970	Без концентрации напряжений	1,15—1,25	—	1,10—1,15
	С концентрацией напряжений (поперечное отверстие, надрез)	1,90—3,00	—	1,30—2,00
Цементация при глубине слоя 0,2—0,6 мм	Без концентрации напряжений	1,20—2,10	—	1,10—1,50
	С концентрацией напряжений	1,50—2,50	—	1,20—2,00
Цианирование при глубине слоя 0,2 мм	Без концентрации напряжений	—	1,80	—

Таблица 3

Влияние поверхностного наклепа

Способ обработки	Вид образца	K_V для образца диаметром	
		7—20 мм	30—40 мм
Обкатка роликом	Без концентрации напряжений	1,20—1,40	1,10—1,25
	С концентрацией напряжений	1,50—2,20	1,30—1,80
Обдувка дробью	Без концентрации напряжений	1,10—1,30	1,10—1,20
	С концентрацией напряжений	1,40—2,50	1,10—1,50

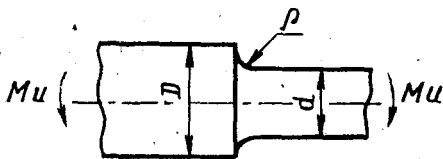
2. Приведенные в п. 1 значения K_V соответствуют оптимальной технологии упрочнения и отсутствию технологических дефектов. При неправильной технологии упрочнения или наличии дефектов (обрыв поверхностного закаленного слоя в зоне концентрации напряжений, обезуглероживание поверхностного слоя, шлифовочные прижоги и другие дефекты) может получиться не повышение, а даже снижение пределов **выносливости**.

Поэтому введение в формулу (2) (см. п. 1.1) коэффициентов K_V возможно только при проведении исследований для обоснования технологических режимов упрочнения применительно к конкретной детали и при получении стабильного эффекта упрочнения (в смысле повышения предела выносливости) в условиях производства.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ
УСТАЛОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Пример 1.

Определить среднее значение и коэффициент вариации предела выносливости вала при изгибе с вращением в месте перехода одного сечения к другому по галтели, показанного на черт. 1.



$$D = 120 \text{ мм}; d = 100 \text{ мм}; \rho = 10 \pm 2 \text{ мм}$$

Черт. 1

Вал изготовлен из стали 45, $\sigma_B = 650$ МПа.

Дано: $\bar{\sigma}_{-1} = 300$ МПа; $\nu_{\sigma} = 0,07$; поверхностному упрочнению вал не подвергается. Вал изготовлен тонкой обточкой ($Rz \approx 6,3$ мкм).

Находим значение α_{σ} по черт. 27 обязательного приложения 3.

$$\text{Для } \frac{\bar{D}}{d} = \frac{120}{100} = 1,20 \text{ и } \frac{\bar{\rho}}{d} = \frac{10}{100} = 0,1; \bar{\alpha}_{\sigma} = 1,62.$$

2. Определяем значение \bar{G} по формуле табл. 1 настоящего стандарта

$$t = \frac{\bar{D} - \bar{d}}{2} = 10 \text{ мм}; \frac{\bar{t}}{\rho} = \frac{10}{10} = 1;$$

$$\varphi = \frac{1}{4\sqrt{t/\rho} + 2} = \frac{1}{4,1 + 2} = 0,167;$$

$$\bar{G} = \frac{2,3(1+\varphi)}{\rho} + \frac{2}{d} = \frac{2,3(1+0,167)}{10} + \frac{2}{100} = 0,268 + 0,02 = 0,288 \text{ 1/мм.}$$

3. Вычисляем значение Θ :

$L = \pi d = 314$ мм — при изгибе с вращением круглого вала;

$$\frac{L}{\bar{G}} = \frac{314}{0,288} = 1090 \text{ мм}^2; \quad \Theta = \frac{L}{\bar{G}} \cdot \frac{1}{88,3} = \frac{1090}{88,3} = 12,35.$$

4. Для стали 45 можно принять $\nu_{\sigma} = 0,2 - 650 \cdot 10^{-4} = 0,135$. По табл. 4 или по черт. 1 (обязательное приложение 4) находим при $\Theta = 12,35$; $F(\Theta, \nu_{\sigma}) = 1,17$.

5. Определяем $K_{\sigma} / K_{d\sigma}$ по формуле (11) настоящего стандарта

$$\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} = \alpha_{\sigma} \cdot F(\Theta, \nu_{\sigma}) = 1,62 \cdot 1,17 = 1,90.$$

6. Для случая тонкой обточкой ($Rz=6,3$ мкм) по черт. 3 (обязательного приложения 4) для $\sigma_B = 650$ МПа, находим: $K_F = 0,91$.

7. Определяем значение K по формуле (2) настоящего стандарта

$$K = \left(\frac{K_\sigma}{K_{\alpha_\sigma}} + \frac{1}{K_F} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V \cdot K_A} = (1,90 + \frac{1}{0,91} - 1) \cdot 1 = 2,00.$$

8. Коэффициент анизотропии $K_A = 1$; $K_V = 1$.

9. Коэффициент K_1 находим по формуле (20) настоящего стандарта

$$K_1 = 1 - 0,2 \lg \frac{d}{d_0} = 1 - 0,2 \lg \frac{100}{7,5} = 0,78.$$

10. Среднее значение предела выносливости металла заготовки вычисляем по формуле (3) настоящего стандарта

$$\bar{\sigma}_{-1} = K_1 \cdot \bar{\sigma}_{-1} = 0,78 \cdot 300 = 234 \text{ МПа.}$$

11. Среднее значение предела выносливости вала составит:

$$\bar{\sigma}_{-1A} = \frac{\bar{\sigma}_{-1}}{K} = \frac{234}{2} = 117 \text{ МПа.}$$

Коэффициент вариации $v_{\sigma_{\max}}$ находим по формуле (38) настоящего стандарта

$$v_{\sigma_{\max}} = \frac{0,1}{1 + 6v_\sigma} = \frac{0,1}{1 + 12,35^{0,135}} = 0,041.$$

Для подсчета коэффициента вариации v_{α_σ} находим по черт. 27 (обязательного приложения 3) значения α_σ при $D/d = 1,2$ и двух значениях, близких к 0,1, например, при

$$(\rho/d)_1 = 0,09; \alpha_{\sigma_1} = 1,67; (\rho/d)_2 = 0,11; \alpha_{\sigma_2} = 1,59.$$

По формуле (44) настоящего стандарта находим:

$$\frac{\alpha_\sigma - 1,67}{1,59 - 1,67} = \frac{\rho/d - 0,09}{0,11 - 0,09}$$

откуда $\alpha_\sigma = 2,03 - 4\rho/d$

По формуле (43) настоящего стандарта получаем:

$$v_{\alpha_\sigma} = \left| \frac{\partial \alpha_\sigma}{\partial \rho} \right|_0 \cdot \frac{\bar{\rho}}{\alpha_\sigma} \cdot v_\rho = \frac{4}{\alpha_\sigma} \cdot \frac{\bar{\rho}}{d} \cdot v_\rho = 0,25 v_\rho.$$

Принимая отклонения радиуса ± 2 мм за $3S_\rho$, получим:

$$S_\rho = \frac{2}{3} = 0,67 \text{ мм}; \quad v_\rho = \frac{0,67}{10} = 0,067;$$

$$v_{\alpha_\sigma} = 0,25 \cdot 0,067 = 0,017.$$

Из-за отсутствия данных коэффициент вариации $v_{\sigma_{-1}}$ принимаем равным

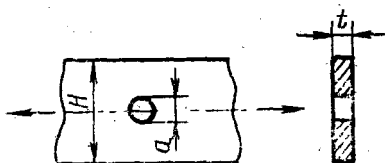
$$v_{\sigma_B} : v_{\sigma_{-1}} \approx v_{\sigma_B} = 0,07.$$

Общий коэффициент вариации предела выносливости вала составит:

$$v_{\sigma_{-1A}} = \sqrt{v_{\sigma_{\max}}^2 + v_{\sigma_{-1}}^2 + v_{\alpha_\sigma}^2} = \sqrt{0,041^2 + 0,07^2 + 0,017^2} = 0,083.$$

Пример 2.

Определить среднее значение предела выносливости пластины с отверстием при растяжении—сжатии, показанной на черт. 2.



$H=100$ мм; $a=10^{+0,1}$ мм; $t=12$ мм.

Черт. 2

Пластина изготовлена из стали марки Ст.3 $R_z=50$ мкм;

$\bar{\sigma}_B=402$ МПа; $\bar{\sigma}_{-1}^{\prime}=185$ МПа; $v_{\sigma_B}=0,06$; $\bar{\sigma}_T=270$ МПа.

1. Определяем значение α_a на черт. 29 (обязательного приложения 3):

$$\text{для } \frac{a}{H} = \frac{10}{100} = 0,10; \alpha_a = 2,73.$$

2. Определяем значение \bar{G} по формуле табл. 1 настоящего стандарта

$$\bar{G} = \frac{2,3}{\rho} = \frac{2,3}{5} = 0,46 \text{ 1/мм } (\rho = \frac{a}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ мм})$$

3. Находим коэффициент n по черт. 14 (обязательного приложения 2)

$$n = 1,12$$

4. Определяем коэффициент K_a по формуле (13) настоящего стандарта

$$K_a = \frac{\alpha_a}{n} = \frac{2,73}{1,12} = 2,44.$$

5. Вычисляем коэффициент K_2 по формуле (21) настоящего стандарта

$$K_2 = 1 - \left(1 - \frac{\sigma_{-1}^{(p)}}{\sigma_{-1}}\right) 0,77 \lg \frac{d}{d_0} = 1 - (1 - 0,8) 0,77 \lg \frac{12}{7,5} = 1 - 0,2 \cdot 0,77 \cdot 0,2 = 1 - 0,03 = 0,97.$$

6. Отношение $K_a / K_{d\sigma}$ определяем по формуле (16) настоящего стандарта

$$\frac{K_a}{K_{d\sigma}} = \frac{2,44}{0,97} = 2,52.$$

7. По черт. 3 (обязательного приложения 4) находим $K_F = 0,89$.

8. Коэффициент K определяем по формуле (2) настоящего стандарта

$$K = \left(\frac{K_a}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_F} - 1 \right) \frac{1}{K_{\sigma} \cdot K_A} = \left(2,52 + \frac{1}{0,89} - 1 \right) \cdot 1 = 2,64.$$

9. Определяем коэффициент K_1 по формуле (20) настоящего стандарта

$$K_1 = 1 - 0,2 \lg \frac{d}{d_0} = 1 - 0,2 \lg \frac{12}{7,5} = 0,96.$$

10. Предел выносливости материала заготовки определяем по формуле (3) настоящего стандарта

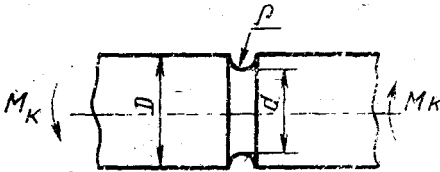
$$\bar{\sigma}_{-1} = K_1 \cdot \bar{\sigma}'_{-1} = 0,96 \cdot 185 = 178 \text{ МПа.}$$

11. Средний предел выносливости пластины с отверстием вычисляем по формуле (1) настоящего стандарта

$$\bar{\sigma}_{-1д} = \frac{178}{2,64} = 67 \text{ МПа.}$$

Пример 3.

Определить среднее значение предела выносливости вала с канавкой при кручении (черт. 3).



$$D = 200 \text{ мм; } d = 180 \text{ мм; } q = 1,8 \pm 0,3 \text{ мм.}$$

Черт. 3

Вал изготовлен из стали марки 40ХН: $\sigma_B = 820 \text{ МПа}$; $\sigma_T = 650 \text{ МПа}$; $\bar{\sigma}'_{-1} = 240 \text{ МПа}$; $v_{\sigma_B} = 0,07$; канавка изготавливается тонкой обточкой и поверхностному упрочнению не подвергается ($Rz = 6,3 \text{ мкм}$).

1. Находим значение α_r по черт. 18 (обязательного приложения 3) при

$$\frac{\bar{r}}{D} = \frac{1,8}{200} = 0,009 \text{ и } \frac{\bar{d}}{D} = \frac{180}{200} = 0,9 \quad \alpha_r = 2,6.$$

2. Определяем значение q по черт. 15 (обязательного приложения 2)
 $q = 0,96.$

3. Величину K_r определяем по формуле (19) настоящего стандарта

$$K_r = 1 + q(\alpha_r - 1) = 1 + 0,96(2,6 - 1) = 2,54.$$

4. Для $d = 180 \text{ мм}$ принимаем $K_2 = 0,8$

5. Отношение $K_r / K_{d\tau}$ определяем по формуле (17) настоящего стандарта

$$\frac{K_r}{K_{d\tau}} = \frac{2,54}{0,8} = 3,18.$$

6. Из черт. 3 (обязательного приложения 4) определяем коэффициент K_F для тонкой обточки ($Rz = 6,3 \text{ мкм}$) $K_F = 0,89.$

7. При отсутствии поверхностного упрочнения

$$K_p = 1$$

8. При кручении $K_A = 1$ (см. п. 1.11.2).

9. Коэффициент K равен

$$K = (3,18 + \frac{1}{0,89} - 1) \cdot \frac{1}{1} = 3,30.$$

10. Принимаем коэффициент K_1 для $d=180$ мм равным 0,74 (п. 1.3.1).

11. Вычисляем предел выносливости материала заготовки по формуле (6) настоящего стандарта

$$\bar{\sigma}_{-1} = 0,74 \cdot 240 = 178 \text{ МПа.}$$

12. Вычисляем средний предел выносливости вала по формуле (4) настоящего стандарта

$$\bar{\sigma}_{-1d} = \frac{178}{3,30} = 53,9.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Справочное

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТАНДАРТА

Настоящий стандарт является унифицированным стандартом СССР и ГДР, разработанным по плану унификации стандартов двух стран.

В основу стандарта положены методы оценки пределов выносливости и других характеристик сопротивления усталости деталей, вошедшие в стандарты ГДР /1,5—7/ и в справочные руководства СССР /2—4/.

Излагаются методы оценки медианных значений пределов выносливости деталей $\bar{\sigma}_{-1d}$ и их коэффициентов вариации $V_{\sigma_{-1d}}$, что позволяет определять значения пределов выносливости $(\sigma_{-1d})_P$, соответствующие заданной вероятности P %.

Наиболее точным методом определения коэффициентов K , отражающих суммарное влияние всех факторов на пределы выносливости, является экспериментальный метод (п. 1.2.1). Если размеры испытуемой модели меньше размеров детали, то учет влияния масштабного фактора на отношение $\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}}$ предлагается производить по формуле (9) с учетом коэффициентов K_2, K_3 , заимствованных из TGL 19340 и отражающих опыт ГДР.

Для расчетного определения эффективных коэффициентов концентрации K_{σ}, K_{τ} и отношений $K_{\sigma}/K_{d\sigma}, K_{\tau}/K_{d\tau}$ предлагаются три метода, изложенные в порядке предпочтительного использования, зависящего от имеющейся исходной информации.

Первый метод, изложенный в п. 1.2.2.1, формулы (11), (12), основан на статистической теории подобия усталостного разрушения /4/. Эта теория получила апробирование во многих лабораториях СССР в течение последних 20 лет и успешно используется в ряде отраслей машиностроения. В случае экспериментального определения коэффициентов v_{σ} и v_{τ} путем испытаний на усталость образцов и моделей в статистическом аспекте ошибка в оценке отношений $K_{\sigma}/K_{d\sigma}$ не превышает 4% с вероятностью 95%. При испытаниях по стандартной методике ограниченного числа образцов каждого типоразмера для определения v ошибка не превышает 8% с вероятностью 95%.

При затруднениях с определением параметра L , а следовательно и критерия подобия Θ , входящего в формулы (11), (12), рекомендуется использовать приближенный метод Зибеля и Штилера, представленный формулами (13), (14), рекомендуемый стандартом ГДР TGL 19340. Для этой же цели допускается применение формул (18), (19), основанных на использовании коэффициентов чувствительности металла к концентрации напряжений q , рекомендуемых в американской справочной литературе /8/, а также в ряде руководств в СССР. Следует иметь в виду, что формулы (13)—(19) приводят к погрешностям существ-

вно больше (до 20%), чем формулы (11), (12). Формулы (29), (30) для коэффициентов влияния качества обработки поверхности $K_{F\sigma}, K_{F\tau}$, формулы (20)—(24) для коэффициентов влияния абсолютных размеров и формула (15) получены разработчиками стандарта ГДР Б. Хенелем, Г. Виртгенем и К. Шустером (Институт легких конструкций г. Дрезден) путем аппроксимации эмпирических графиков, приведенных в TGL 19340.

В разд. 3 стандарта изложен метод оценки коэффициентов вариации пределов выносливости $V_{\sigma_{-1d}}$, вытекающий из теории подобия усталостного разрушения [4]. В связи с оценкой коэффициентов $V_{\sigma_{-1d}}$ вводятся два медианных значения предела выносливости гладких лабораторных образцов диаметром $d_0 = 7,5$ мм при изгибе с вращением σ_{-1} , $\bar{\sigma}_{-1}$, определенное на образцах металла одной плавки, и $\bar{\sigma}_{-1}$, определенное на множестве всех плавок металла данной марки. В связи с этим коэффициент вариации $V_{\bar{\sigma}_{-1}}$ (формулы 35—37) учитывает межплавочный разброс величин $\bar{\sigma}_{-1}$.

Известно, что с ростом размеров заготовки при термообработке снижаются механические свойства металла ($\sigma_b, \sigma_t, \sigma_{-1}$), определенные на лабораторных образцах малых размеров (2), фиг. 41, стр. 129). В связи с этим вводится коэффициент K_1 (формула (3)), равный отношению пределов выносливости $\bar{\sigma}_{-1}$ и $\bar{\sigma}_{-1}$, определенных на лабораторных образцах диаметром $d_0 = 7,5$ мм, изготовленных из заготовок размером d (таким же, как размер натурной детали) и размером 10—20 мм соответственно.

Теоретические коэффициенты концентрации $\alpha_\sigma, \alpha_\tau$ предлагается определять по номограммам и формулам Нейбера, по графикам, приведенным в работе [8], а также по приближенной формуле (25), заимствованной из TGL 19340. Последнюю формулу используют в случае необходимости вычислений α_σ на ЭВМ.

Величины v_σ, v_τ , являющиеся параметрами уравнения подобия усталостного разрушения [4], характеризуют чувствительность металла к концентрации напряжений и влиянию абсолютных размеров поперечного сечения. С ростом v_σ чувствительность к концентрации напряжений уменьшается, а влияние абсолютных размеров на величины пределов выносливости усиливается.

Значения v_σ, v_τ находят экспериментально по методике, выбирают 4—5 или более типоразмеров образцов с различными значениями критерия подобия усталостного разрушения Θ (так, чтобы диапазон изменения Θ был по возможности наибольшим). Находят пределы выносливости этих образцов, причем предпочтительно методом «лестницы» или «пробит»-методом. По найденным значениям строят зависимость $\lg(\xi - 1)$ от $\lg \Theta$, соответствующую уравнению подобия [4].

$$\lg(\xi - 1) = -v_\sigma \cdot \lg \Theta, \quad (1)$$

$$\text{где} \quad \xi = \frac{\alpha_\sigma \cdot \sigma_{-1d}}{0,5\sigma_{-1}}$$

Значение $\bar{\sigma}_{-1}$ находят путем предварительного построения зависимости $\sigma_{\max} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{-1d}$ от $\lg \Theta$ и ее осреднения. По зависимости (1), найденной методом наименьших квадратов, определяют значение v_σ .

В случае невозможности проведения экспериментов значения v_σ и v_τ определяют по корреляционным зависимостям (27)—(28).

Расчетные характеристики для оценки долговечности при малоцикловом нагружении определяют применительно к широко используемому подходу, основывающемуся на учете местных циклических деформаций в конструкциях.

Расчет выполняют с привлечением деформационно-кинетических критериев малоциклового прочностного, трактующих достижение предельного состояния в виде критических величин квазистатических и усталостных повреждений и их сумм в линейной форме. Расчет ведется в деформациях (циклических упругопластических и односторонне накопленных).

Учитывается кинетика односторонне накопленных и циклических деформаций в процессе нагружения в максимально напряженных зонах конструкции, а также деформационная способность материала при статическом (квазистатическом) и малоциклового нагружениях. Первая характеризуется располагаемой пластичностью, вторая — кривой малоциклового усталости конструкционного материала.

Изменяющиеся от цикла к циклу диаграммы деформирования используются в форме обобщенной диаграммы, отражающей процессы циклического упрочнения, разупрочнения и стабилизации. Указанная обобщенная диаграмма вошла в практику расчетов при малоциклового нагружения.

Задачу о напряженно-деформированном состоянии элементов конструкций решают расчетным и экспериментальными методами в циклической упругопластической постановке.

Названные подходы систематически изложены в ряде изданий [3, 9—11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. DDR—Standard TGL 19340, Blatt 1 bis 4 (2 Entwurf, Juli 1974) Maschinenbauteile, Dauerschwingfestigkeit.
2. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчеты на прочность деталей машин. М., Машгиз, 1963, 451 с.
3. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчеты на прочность деталей машин. М., «Машиностроение», 1975, 488 с.
4. Когаев В. П. Расчеты на прочность при напряжениях переменных во времени. М., «Машиностроение», 1977.
5. Hänel B., Wirthgen G. Neufassung des DDR — Standards TGL 19330 «Schwingfestigkeit, Begriffe und Zeichen». IfL — Mitt., Dresden, 18 (1979) 5, s. 178—191.
6. C. Schuster und C. Wirthgen. Aufbau und Anwendung der DDR — Standards TGL 19340 (Neufassung) «Maschinenbauteile, Dauerschwingfestigkeit». IfL—Mitt., Dresden, 14 (1975) Heft 1/2, s. 3—29.
7. B. Hanel und G. Wirthgen. Zum DDR — Standards TGL 36766 «Schwingfestigkeit, Ermüdungsprüfung von Werkstoffproben», IfL — Mitt., Dresden, 1979, 5, s. 211—215.
8. Петерсон Р. Е. Концентрация напряжений. М., «Мир», 1977, с. 302.
9. Москвитин В. В. Пластичность при переменных нагружениях. Изд. Моск. университета, 1965, 263 с.
10. Гусенков А. П. Прочность при изотермическом и неизотермическом малоциклового нагружении. М., «Наука», 1979, 295 с.
11. Махутов Н. А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. М., «Машиностроение», 1981, 272 с.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. Определение пределов выносливости деталей машин и элементов конструкций	2
1.1. Определение медианных значений пределов выносливости	2
1.2. Определение эффективных коэффициентов концентрации напряжений K_σ , K_τ и отношений $K_\sigma / K_{d\sigma}$, $K_\tau / K_{d\tau}$	3
1.3. Определение коэффициентов K_1 , K_2 , K_3	5
1.4. Определение теоретических коэффициентов концентраций напряжений α_σ , α_τ	8
1.5. Определение значения относительного критерия подобия усталостного разрушения Θ	11
1.6. Определение параметра L	12
1.7. Определение относительного градиента первого главного или касательного напряжений \bar{G} , \bar{G}_τ	13
1.8. Определение коэффициентов чувствительности металла к концентрации напряжений и масштабному фактору v_σ и v_τ	13
1.9. Определение коэффициентов влияния шероховатости поверхности $K_{F\sigma}$, $K_{F\tau}$	13
1.10. Определение коэффициента $K_{кор}$	13
1.11. Определение коэффициента влияния поверхностного упрочнения K_σ и коэффициента анизотропии K_A	14
2. Определение пределов выносливости деталей машин и элементов конструкций для заданной вероятности разрушения $(\sigma_{-1d})_p$	14
3. Определение коэффициентов вариации пределов выносливости деталей машин и элементов конструкций	15
4. Определение параметров кривых усталости m и N_G и коэффициентов чувствительности к асимметрии цикла напряжений Ψ_σ и Ψ_τ	17
5. Определение расчетных характеристик сопротивления малоцикловой усталости	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Обозначения, применяемые в стандарте	27
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Определение эффективных коэффициентов концентрации напряжений K_σ , K_τ , отношений $K_\sigma / K_{d\sigma}$, $K_\tau / K_{d\tau}$, коэффициентов n , q , K_1 и K_3	31
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Определение теоретических коэффициентов концентрации напряжений α_σ , α_τ	40
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Определение значений функции $F(\Theta, v)$, параметра L , коэффициента влияния шероховатости поверхности K_F и коэффициента $K_{кор}$	68
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Определение коэффициентов влияния поверхностного упрочнения K_σ	72
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Примеры расчета характеристик сопротивления усталости деталей машин	74
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Теоретические основы стандарта	78