

$m^{(0)}$  и  $m^{(k)}$  — показатели упрочнения материала в упругопластической области, определяемые по диаграммам статического и циклического деформирования при степенной аппроксимации.

При этом циклический модуль упрочнения имеет вид:

$$m^{(k)} = \lg \left( \frac{e^{(0)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} \right)^{m^{(0)}} / \lg \left[ \left( \frac{e^{(0)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} \right)^{m^{(0)}} + \frac{\bar{A}}{2} \left( \frac{e^{(0)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} - 1 \right) \frac{1}{K\alpha} \right] \quad (58)$$

для циклически упрочняющихся материалов, для которых  $m^{(k-1)} < m^{(k)}$  ;

$$m^{(k)} = \lg \left( \frac{e^{(0)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} \right)^{m^{(0)}} / \lg \left[ \left( \frac{e^{(0)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} \right)^{m^{(0)}} + \frac{\bar{A}}{2} \left( \frac{e^{(0)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} - 1 \right) e^{\beta(k-1)} \right] \quad (59)$$

для циклически разупрочняющихся материалов, для которых  $m^{(k-1)} > m^{(k)}$  ;

$$m^{(k)} = \lg \left( \frac{e^{(0)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} \right)^{m^{(0)}} / \lg \left[ \left( \frac{e^{(0)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} \right)^{m^{(0)}} + \frac{\bar{A}}{2} \left( \frac{e^{(0)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} - 1 \right) \right] \quad (60)$$

для циклически стабилизирующихся материалов, у которых  $m^{(k-1)} = m^{(k)}$ .

При линейной аппроксимации диаграммы статического и циклического деформирования имеют вид:

$$\frac{\sigma^{(0)}}{\sigma_{\text{пц}}^{(0)}} = (1 - E_{\tau}^{(0)}) + E_{\tau}^{(0)} \frac{e^{(0)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}}, \quad \frac{S^{(k)}}{\sigma_{\text{пц}}^{(0)}} = 2(1 - E_{\tau}^{(k)}) + E_{\tau}^{(k)} \frac{\epsilon^{(k)}}{e_{\text{пц}}^{(0)}} \quad (61)$$

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

где  $E_{\tau}^{(0)}$  и  $E_{\tau}^{(k)}$  — показатели упрочнения материала в упругопластической области, определяемые по диаграмме статического и циклического деформирования при линейной аппроксимации;

$E_{\tau}^{(k)} = 1 / \left( 1 + \frac{\bar{A}}{2E_{\tau}^{(0)}} \cdot \frac{1}{K\alpha} \right)$  — для циклически упрочняющихся материалов;

$E_{\tau}^{(k)} = 1 / \left( 1 + \frac{\bar{A}}{2E_{\tau}^{(0)}} \cdot e^{\beta(k-1)} \right)$  — для циклически разупрочняющихся материалов;

$E_{\tau}^{(k)} = 1 / \left( 1 + \frac{\bar{A}}{2E_{\tau}^{(0)}} \right)$  — для циклически стабилизирующихся материалов.

5.4.5. По статическим диаграммам деформирования определяют пределы пропорциональности, текучести и прочности, равно-

мерное и общее удлинение (ГОСТ 1497—73); по диаграммам циклического деформирования — пределы пропорциональности и текучести по параметру числа циклов или полциклов нагружения, коэффициенты  $\bar{A}$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ , характеризующие сопротивление циклическому деформированию, циклическое упрочнение, разупрочнение, стабилизацию.

5.4.6. Коэффициент  $\bar{A}$  характеризует связь между деформацией исходного нагружения  $e^{(0)}$  и шириной петли гистерезиса  $\delta^{(1)}$  в первом полцикле при мягком нагружении. Определяется из выражения

$$\bar{A} = \delta^{(1)} / (e^{(0)} - e_{\text{пл}}^{(0)}). \quad (62)$$

Полученную совокупность экспериментальных величин  $\bar{A}$  (по результатам испытания серии порядка 5—10 образцов при различных значениях исходной деформации  $e^{(0)}$ ) обрабатывают с использованием метода наименьших квадратов или другим способом осреднения.

5.4.7. Коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  определяют по полученным при мягком нагружении экспериментальным данным  $\lg \delta^{(k)} - \lg k$  (для случая циклического упрочнения) и  $\lg \delta^{(k)} - k$  (для циклического разупрочнения). Величины  $\alpha$  или  $\beta$  для рассматриваемого образца вычисляют по формулам (черт. 2):

$$\alpha = \frac{\lg \delta_1^{(k)} - \lg \delta_2^{(k)}}{\lg k_2 - \lg k_1}; \quad \beta = \frac{\lg \delta_2^{(k)} - \lg \delta_1^{(k)}}{k_2 - k_1} \cdot \frac{1}{\lg e}, \quad (63)$$

где  $\delta^{(k)}$  — ширина петли гистерезиса в  $k$ -м полцикле нагружения.

Для расчетов в заданном диапазоне максимальных деформаций рекомендуется применять средние коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$ , полученные при различных значениях исходных деформаций в заданном диапазоне.

5.5. Определение располагаемой пластичности материала

5.5.1. Располагаемая пластичность материала ( $\epsilon_f$ ) определяется как

$$\epsilon_f = \ln \frac{1}{1-\psi_B} \quad \text{или} \quad \epsilon_f = \ln \frac{1}{1-\psi}, \quad (64)$$

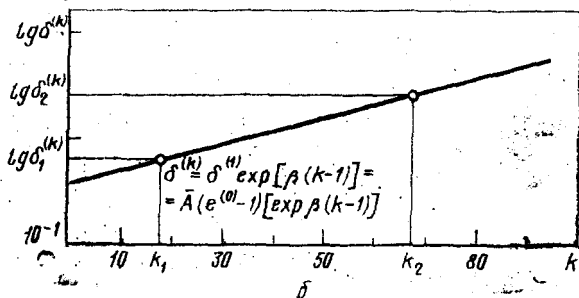
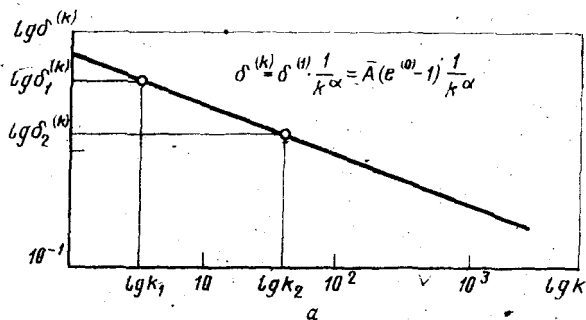
где  $\psi_B$  и  $\psi$  — коэффициенты уменьшения поперечного сечения, соответствующие достижению предела прочности или разрыву образца. Определяется по ГОСТ 1497—73.

5.6. Определение кривой малоциклового усталости

5.6.1. Кривая малоциклового усталости определяется экспериментально по результатам испытаний серии образцов при жестком

нагрузении по ГОСТ 25.502—79. Результаты представляют в виде зависимости долговечности от циклической упругопластической или пластической деформации.

Зависимость ширины петли гистерезиса от числа полуциклов нагружения



а—циклическое упрочнение; б—циклическое разупрочнение

Черт. 2

5.6.2. Аналитически кривую малоциклового усталости выражают уравнениями:

$$\epsilon_p^{(k)} = \bar{C} \cdot N^{-\mu} , \quad (65)$$

$$\epsilon^{(k)} = \bar{C} \cdot N^{-\mu} + \frac{2\sigma_{-1}}{E} , \quad (66)$$

$$\epsilon^{(k)} = \epsilon_e^{(k)} + \epsilon_p^{(k)} = \bar{B} \cdot N^{-0,12} + \bar{D}^{0,6} \cdot N^{-0,6} . \quad (67)$$

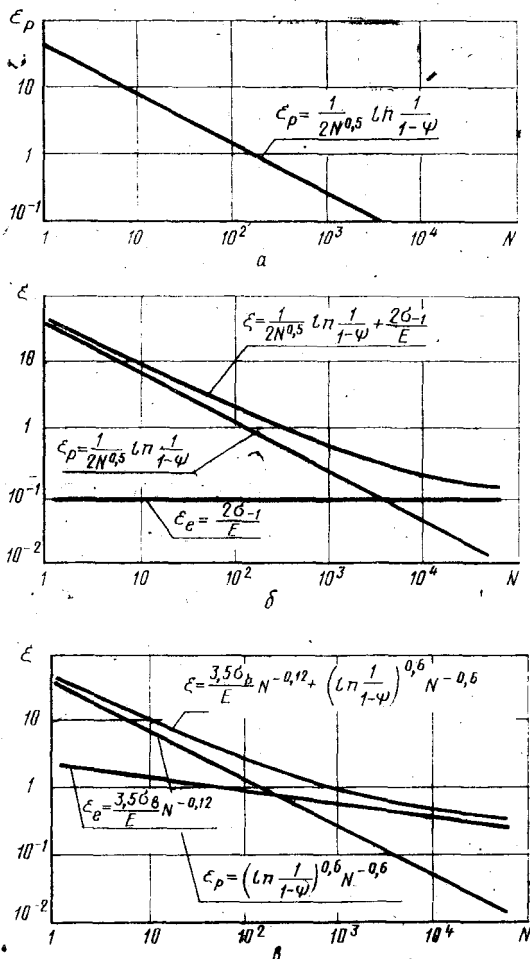
При этом зависимость долговечности от циклической пластической деформации ( $\epsilon_p^{(k)}$ ) используется в диапазоне чисел циклов  $< 10^3 - 5 \cdot 10^3$ .

Зависимость долговечности от циклических упругопластических деформаций ( $\epsilon^{(k)}$ ) применяют во всем малоцикловом диапазоне чисел циклов нагружения ( $< 5 \cdot 10^4 - 10^5$ ).

Коэффициенты в уравнениях определяют по экспериментальным данным о долговечности при малоцикловом нагружении с симметричным циклом деформаций.

5.6.3. Для приближенных расчетов кривой малоциклового усталости используют корреляционные зависимости, устанавливающие

Зависимость долговечности от величины пластической ( $a$ ) и упругопластической деформации ( $b, в$ ) в цикле при  $\epsilon(k) = \text{const}$



Черт. 3

связь характеристик сопротивления малоцикловой усталости с прочностью и пластичностью материала при статическом разрыве образца. При этом принимают следующие значения коэффициентов уравнений кривой малоцикловой усталости:

$$\bar{C} = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{1-\Psi_b} \quad \text{или} \quad \bar{C} = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{1-\Psi} ;$$

$$\bar{B} = \frac{3,5\sigma_b}{E} ; \quad \bar{D} = \ln \frac{1}{1-\Psi_b} \quad \text{или} \quad \bar{D} = \ln \frac{1}{1-\Psi} .$$

Показатель  $\mu$  для широкого круга конструкционных сталей и сплавов, в первом приближении, равен 0,5—0,6.

Графики, соответствующие уравнениям (65), (66), (67) с учетом величин коэффициентов, приведены на черт. 3. Там же даны линии, характеризующие первое и второе слагаемое уравнений (66), (67).

5.6.4. Для получения расчетных кривых используют, с целью обеспечения запасов прочности, минимально гарантированные по техническим условиям на материал величины  $\Psi$ ,  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{-1}$ . При наличии статистических данных в расчет вводят характеристики, соответствующие средним за вычетом трех стандартных отклонений.

5.6.5. В области числа циклов нагружения до разрушения  $10^4$  циклов асимметрия деформаций при определении расчетных кривых малоцикловой усталости не учитывается, если  $e_{\max} < 0,25 e_f$ .

При  $e_{\max} > 0,25 e_f$  в уравнениях кривых малоцикловой усталости используют коэффициенты, равные  $\bar{C} - e_{\max}$  и  $\bar{D} - e_{\max}$ .

При числе циклов нагружения в диапазоне  $10^4 - 10^5$  асимметрию цикла нагружения учитывают способом, аналогичным применяемому в многоцикловой области.

5.6.6. Масштабный эффект, влияние чистоты поверхности, коррозии и т. п. следует оценивать постановкой соответствующих экспериментов.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**  
**Обязательное**

**ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СТАНДАРТЕ**

- $\sigma_{-1}$  — предел выносливости при симметричном цикле гладких лабораторных образцов диаметром  $d_0 = 7,5$  мм при изгибе с вращением, изготовленных по ГОСТ 25.502—79, МПа;
- $\bar{\sigma}_{-1}$  — медианное значение  $\sigma_{-1}$  для образцов из металла одной плавки, МПа;
- $\bar{\bar{\sigma}}_{-1}$  — медианное значение предела выносливости на совокупности всех плавок металла данной марки гладких лабораторных образцов диаметром  $d_0 = 7,5$  мм, изготовленных из заготовок диаметром  $d$ , равным абсолютному размеру рассчитываемой детали, МПа;
- $K$  — коэффициент снижения предела выносливости,
- $\sigma_{-1d}$  — предел выносливости детали при симметричном цикле, выраженный в номинальных напряжениях, МПа;
- $\bar{\sigma}_{-1d}$  — медианное значение  $\sigma_{-1d}$ , МПа;
- $\bar{\bar{\sigma}}_{-1d}$  — медианное значение предела выносливости детали на совокупности всех плавок металла данной марки, МПа;
- $(\sigma_{-1})_P$  — значение  $\sigma_{-1}$ , соответствующее вероятности разрушения  $P$  %, например,  $(\sigma_{-1})_{10}$  — при  $P = 10\%$ , МПа;
- $(\sigma_{-1d})_P$  — предел выносливости детали, соответствующий вероятности разрушения  $P$  %, МПа;
- $\bar{\sigma}_{-1}$  — медианное значение предела выносливости гладких лабораторных образцов диаметром  $d_0 = 7,5$  мм, изготовленных из заготовок металла данной марки размерами 10—20 мм, МПа;
- $K_1$  — коэффициент, учитывающий снижение механических свойств металла ( $\sigma_B, \sigma_T, \sigma_{-1}$ ) с ростом размеров заготовок;
- $\sigma_B$  — временное сопротивление (предел прочности) стали данной марки при растяжении, МПа;
- $\bar{\sigma}_B$  — медианное значение предела прочности стали данной марки, определенное на образцах, изготовленных из заготовок диаметром  $d$ , равным абсолютному размеру рассчитываемой детали, МПа;
- $K_\sigma = \sigma_{-1d} / \bar{\sigma}_{-1d}$  — эффективный коэффициент концентрации напряжений;
- $K_{d_0} = \sigma_{-1d} / \bar{\sigma}_{-1}$  — коэффициент влияния абсолютных размеров поперечного сечения;
- $\sigma_{-1d}$  — предел выносливости образца без концентрации напряжений диаметром  $d$ , МПа;
- $K_F = \frac{\sigma_{-1P}}{\bar{\sigma}_{-1}}$  — коэффициент влияния шероховатости поверхности, равный отношению предела выносливости образца с данным качеством поверхности  $\sigma_{-1P}$  к пределу выносливости гладкого лабораторного образца;

$K_v = \frac{\sigma_{-1д \text{ упр}}}{\sigma_{-1д}}$  — коэффициент влияния поверхностного упрочнения, равный отношению предела выносливости упрочненной детали  $\sigma_{-1д \text{ упр}}$  к пределу выносливости неупрочненной детали  $\sigma_{-1д}$ ;

$K_A$  — коэффициент анизотропии;

$K_{\text{корр}} = \frac{\sigma_{-1\text{кор}}}{\sigma_{-1}}$  — коэффициент влияния коррозии, равный отношению предела выносливости гладкого образца в условиях коррозии  $\sigma_{-1\text{кор}}$  к пределу выносливости образца при испытаниях в воздухе;

$K_{\sigma(d_p)}$  — эффективный коэффициент концентрации напряжений, определенный на образцах диаметром  $d_p$ ;

$K_{\Sigma(d_p)}$  — значение коэффициента  $K_{\Sigma}$ , соответствующее диаметру  $d_p$ ;

$K_2, K_3$  — коэффициенты, учитывающие влияние абсолютных размеров на пределы выносливости по опытным данным для детали размером  $d$ ;

$\xi', \xi''$  — поправочные коэффициенты;

$v_{\sigma}$  — постоянная для данного металла величина (при определенной температуре и частоте испытания), определяющая чувствительность к концентрации напряжений и влиянию абсолютных размеров поперечного сечения при изгибе или растяжении—сжатии;

$L$  — параметр рабочего сечения образца или детали или его часть, прилегающая к местам повышенной напряженности, мм;

$\bar{G}$  — относительный градиент первого главного напряжения в зоне концентрации напряжений,  $\text{мм}^{-1}$ ;

$\bar{G}_z$  — относительный градиент касательного напряжения,  $\text{мм}^{-1}$ ;

$L/\bar{G}$  — критерий подобия усталостного разрушения детали,  $\text{мм}^2$ ;

$(L/\bar{G})_0$  — критерий подобия усталостного разрушения образца диаметром  $d_0 = 7,5$  мм,  $\text{мм}^2$ ;

$\theta = \frac{L/\bar{G}}{(L/\bar{G})_0}$  — относительный критерий подобия усталостного разрушения;

$\alpha_{\sigma} = \sigma_{\text{max}}/\sigma_{\text{н}}$  — теоретический коэффициент концентрации напряжений, равный отношению максимального напряжения в зоне концентрации  $\sigma_{\text{max}}$  к номинальному напряжению  $\sigma_{\text{н}}$ ; вычисленному по формулам сопротивления материалов (в предположении упругого распределения напряжений);

$n = f(\bar{G}, \sigma_T)$  — коэффициент, зависящий от значений относительного градиента напряжений и предела текучести;

$\sigma_T$  — предел текучести стали данной марки при растяжении, МПа;

$q$  — коэффициент чувствительности металла к концентрации напряжений;

$\sigma_{-1}^{(p)}$  — предел выносливости образцов при растяжении—сжатии, МПа;

$A, B, C, Z$  — постоянные коэффициенты;

$v_{\sigma_{-1д}}$  — коэффициент вариации пределов выносливости деталей;

$z_p$  — квантиль нормального распределения, соответствующая заданной вероятности разрушения  $P$ ;

- $s_{e-1d}$  — среднее квадратическое отклонение предела выносливости детали, МПа;
- $v_{\sigma \max}$  — коэффициент вариации максимальных разрушающих напряжений в зоне концентрации;
- $v_{\sigma-1}$  — коэффициент вариации средних значений пределов выносливости образцов;
- $v_{\alpha}$  — коэффициент вариации теоретического коэффициента концентрации напряжений  $\alpha_{\sigma}$ ;
- $m$  — показатель наклона левой ветви кривой усталости в двойных логарифмических координатах;
- $N_G$  — абсцисса точки перелома кривой усталости;
- $\Psi_{\sigma}$  — коэффициент чувствительности к асимметрии цикла напряжений;
- $\Psi_{\sigma_d}$  — коэффициент чувствительности к асимметрии цикла напряжений для детали;
- $\sigma_{ад}$  — предельная амплитуда для детали при асимметричном цикле нагружения;
- $d_0, d, d_p, D,$   
 $\rho, t, a, h, H$  — размеры рабочего сечения образцов (деталей), мм;
- $\varepsilon_f$  — располагаемая пластичность материала, %;
- $N$  — число циклов нагружения;
- $k$  — число полуциклов нагружения ( $k=0, 1, 2, 3 \dots$ );
- $\sigma_{\max}^{(0)}$  — действительное максимальное напряжение в исходном нагружении (нулевой полуцикл), МПа;
- $\sigma_H$  — номинальное напряжение, МПа;
- $K_{\sigma}^{(0)} = \frac{\sigma_{\max}^{(0)}}{\sigma_H}$  — коэффициент концентрации напряжений в упругопластической области в исходном нагружении (нулевой полуцикл);
- $e_{\max}^{(0)}$  — действительная максимальная упругопластическая деформация в исходном нагружении (нулевой полуцикл), %;
- $e_H$  — номинальная деформация в исходном нагружении (нулевой полуцикл), %;
- $K_e^{(0)} = \frac{e_{\max}^{(0)}}{e_H}$  — коэффициент концентрации деформаций в упругопластической области в исходном нагружении (нулевой полуцикл);
- $S_{\max}^{(k)}$  — действительное максимальное напряжение в  $k$ -ом полуцикле нагружения, МПа;
- $S_H^{(k)}$  — номинальное напряжение в  $k$ -ом полуцикле нагружения, МПа;
- $K_S^{(k)} = \frac{S_{\max}^{(k)}}{S_H^{(k)}}$  — коэффициент концентрации напряжений в упругопластической области в  $k$ -ом полуцикле нагружения;
- $e_{\max}^{(k)}$  — действительная максимальная упругопластическая деформация в  $k$ -ом полуцикле нагружения, %;
- $e_H^{(k)}$  — номинальная деформация в  $k$ -ом полуцикле нагружения, %;
- $K_e^{(k)} = \frac{e_{\max}^{(k)}}{e_H^{(k)}}$  — коэффициент концентрации деформаций в упругопластической области в  $k$ -ом полуцикле нагружения;



- $e^{(0)}$  — уровень деформации в исходном нагружении гладких образцов, %;  
 $\sigma^{(0)}$  — уровень напряжений в исходном нагружении гладких образцов, МПа;  
 $\sigma_{\text{пц}}^{(0)}$  — предел пропорциональности в исходном нагружении, определенный при допуске на пластическую деформацию 0,02% в координатах  $\sigma$ — $e$ , МПа;  
 $e_{\text{пц}}^{(0)}$  — деформация, соответствующая пределу пропорциональности, в исходном нагружении в координатах  $\sigma$ — $e$ , %;  
 $S_{\text{пц}}^{(k)}$  — предел пропорциональности в  $k$ -ом полуцикле нагружения в координатах  $S$ — $e$ , МПа;  
 $e_{\text{пц}}^{(k)}$  — деформация, соответствующая пределу пропорциональности в  $k$ -ом полуцикле нагружения в координатах  $S$ — $e$ , %;  
 $E_T^{(0)}$  — показатель упрочнения в упругопластической области при линейной аппроксимации диаграммы статического деформирования;  
 $E_T^{(k)}$  — показатель упрочнения в упругопластической области при линейной аппроксимации диаграммы циклического деформирования в  $k$ -ом полуцикле нагружения;  
 $m^{(0)}$  — показатель упрочнения в упругопластической области при степенной аппроксимации диаграммы статического деформирования;  
 $m^{(k)}$  — показатель упрочнения в упругопластической области при степенной аппроксимации диаграммы циклического деформирования в  $k$ -ом полуцикле нагружения;  
 $\delta^{(1)}$  — ширина петли гистерезиса в 1-ом полуцикле нагружения, %;  
 $\delta^{(k)}$  — ширина петли гистерезиса в  $k$ -ом полуцикле нагружения, %;  
 $e^{(k)}$  — упругопластическая деформация, накопленная после  $k$ -го полуцикла нагружения, %;  
 $e_p^{(k)}$  — пластическая деформация, накопленная после  $k$ -го полуцикла нагружения, %;  
 $e_{\text{max}}^{(k)}$  — максимальная упругопластическая деформация, накопленная за  $k$  полуциклов нагружения, %;  
 $e^{(k)} = e_p^{(k)} + e_e^{(k)}$  — размах упругопластической деформации в  $k$ -ом полуцикле нагружения, %;  
 $e_p^{(k)}$  — размах пластической деформации в  $k$ -ом полуцикле нагружения, равный  $\sigma^{(k)}$ ;  
 $e_e^{(k)}$  — упругая деформация в  $k$ -ом полуцикле нагружения, %, равная  $S^{(k)}/E$ ;  
 $\Psi$  — относительное сужение площади поперечного сечения образца при статическом растяжении, %;  
 $\Psi_{\text{в}}$  — относительное сужение площади поперечного сечения образца, соответствующее  $\sigma_{\text{в}}$ , %;  
 $E$  — модуль упругости материала, МПа;  
 $\overline{C}$ ,  $\overline{B}$ ,  $\overline{D}$  — коэффициенты уравнений кривой малоциклового усталости.

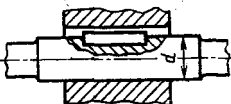
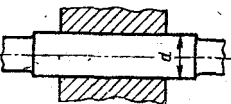
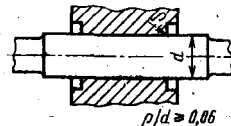
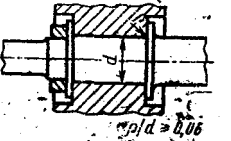

Примечание. При кручении обозначения аналогичны с заменой  $\sigma$  на  $\tau$ , например,  $\tau_{-1}$ ,  $\tau_{-1д}$  и т. д.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2  
Обязательное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОНЦЕНТРАЦИИ  
НАПРЯЖЕНИЙ  $K_\sigma$ ,  $K_\tau$ , ОТНОШЕНИЯ  $\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}}$ ,  $\frac{K_\tau}{K_{d\tau}}$ , КОЭФФИЦИЕНТОВ  
 $n$ ,  $q$ ,  $K_1$  и  $K_3$

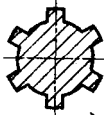
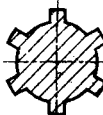
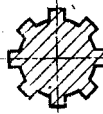
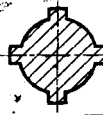
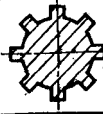
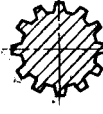
Таблица I

Валы  $d = 40$  мм с посадками ступиц

Форма ступицы	Посадка	$K_\sigma$ при $\sigma_B$ , МПа									
		400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	
	H7/n6	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	
	H8/u8										
	H8/u8	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	
	H7/n6	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,1	3,2	3,2	
	H8/u8	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2	

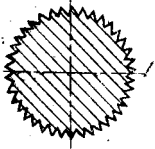
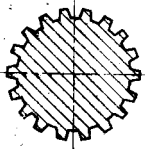
Примечание.  $K_\tau = 0,65 K_\sigma$ .

## Шлицевые валы при кручении

Сечение вала и профиль шлица	Предел прочности материала вала $\sigma_B$ , МПа	$K_\tau$
$6 \times 28 \times 34 \times 7$ 	400	1,9
	500	2,0
	650	2,1
	1100	3,1
$6 \times 29 \times 35 \times 8,8$ 	600	1,9
	750	2,1
	1000	2,6
	1200	3,2
$8 \times 32 \times 36 \times 6$ 		2,0
$A4 \times 32 \times 38 \times 10$ 	1000	2,3
$8 \times 32 \times 38 \times 6$ 		2,3
$10 \times 32 \times 40 \times 5$ 		2,8

Примечание. Материал ступицы — сталь с пределом прочности 650 МПа.

Мелкошлицевые валы при кручении

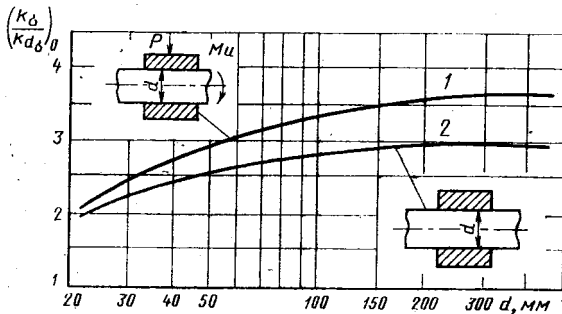
Сечение вала и профиль шлица	Предел прочности материала вала $\sigma_B$ , МПа	$K_\tau$
<p>30×34</p> 	500, 650	1,5
<p>31×35</p> 	1000	1,1

Примечания:

1. Исходный вал с наружным диаметром 34 и 35 мм подвергнут цементации и закалке.

2. Материал ступицы — сталь с пределом прочности 650 МПа.

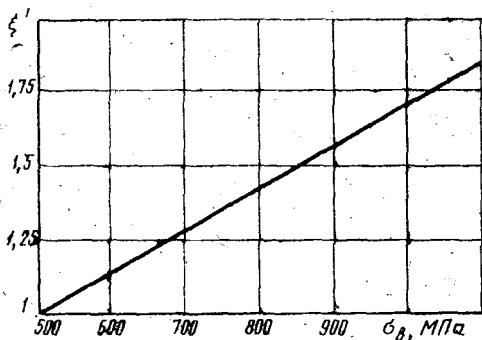
Валы с напрессованными деталями при изгибе



$\sigma_B = 500$  МПа;  $P > 30$  МПа 1 — через напрессованную деталь передается сила или момент;  
2 — через напрессованную деталь не передается усилий

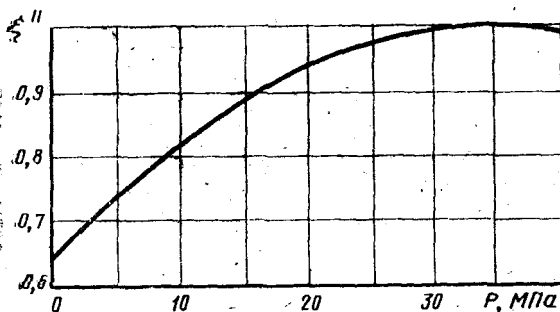
Черт. 1

Поправочный коэффициент  $\xi'$  на предел прочности  $\sigma_b$  (к черт. 1)



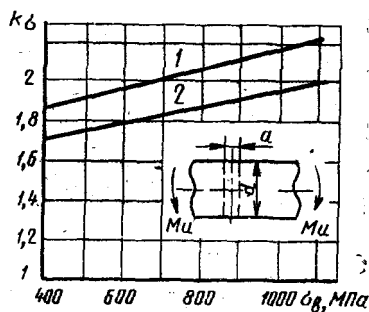
Черт. 2

Поправочный коэффициент  $\xi''$  на давление напоровки  $P$  (к черт. 1)



Черт. 3

Валы с поперечным отверстием при изгибе



$$1 - \frac{a}{d} = 0,05 - 0,1;$$

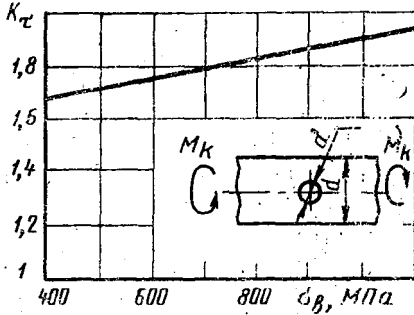
$$2 - \frac{a}{d} = 0,15 - 0,25;$$

$$\sigma_H = \frac{M_H}{W_{\text{нетто}}}$$

при  $d = 30 - 50$  мм

Черт. 4

Валы с поперечным отверстием при кручении

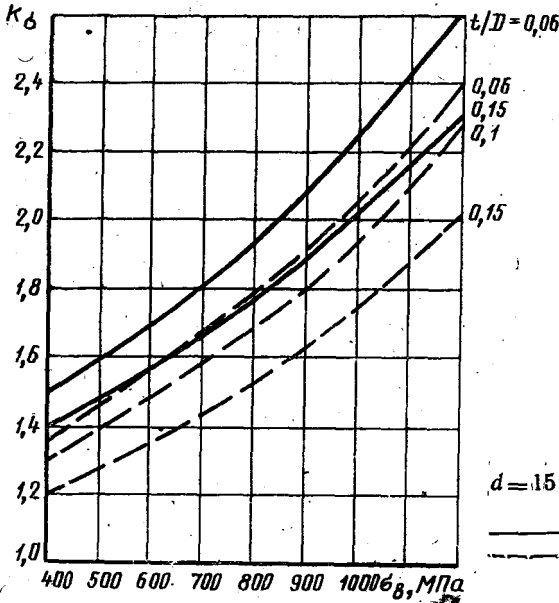


$$\frac{a}{d} = 0,05 - 0,25 \cdot \tau_H = \frac{M_K}{W_K \text{ нетто}}$$

при  $d=30-50$  мм

Черт. 5

Валы с V-образной кольцевой выточкой

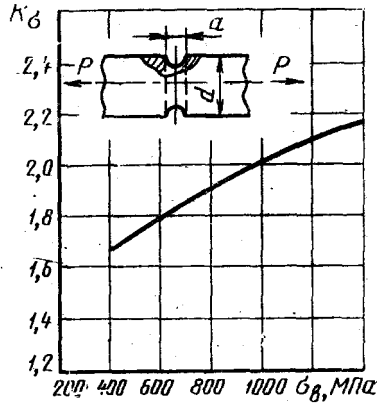


$d=15$  мм,  $Rz=20$  мкм.

— растяжение—сжатие;  
- - - изгиб.

Черт. 7

Валы с поперечным отверстием при растяжении—сжатии

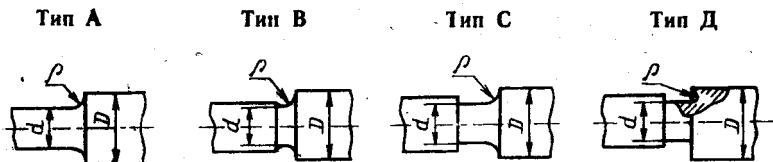


$$\frac{a}{d} = 0,20 - 0,45; d=15 \text{ мм};$$

$$\sigma_H = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4} - a \cdot d}$$

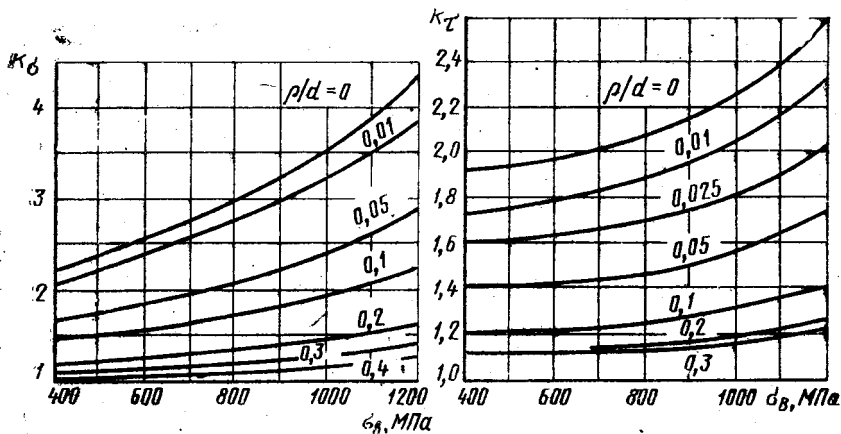
Черт. 6

Ступенчатые валы



Черт. 8

Ступенчатые валы типов А, В, С, Д



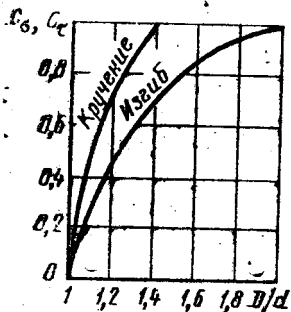
$\frac{D}{d} = 2, \quad d = 15 \text{ мм}, \quad R_z = 10 \text{ мкм}$

Черт. 9

$\frac{D}{d} = 1,4, \quad d = 15 \text{ мм}, \quad R_z = 10 \text{ мкм}$

Черт. 10

Коэффициент пересчета С к черт. 9 и 10



$$K_\sigma = 1 + C_\sigma \left( K_{\sigma\left(\frac{D}{d}=2\right)} - 1 \right);$$

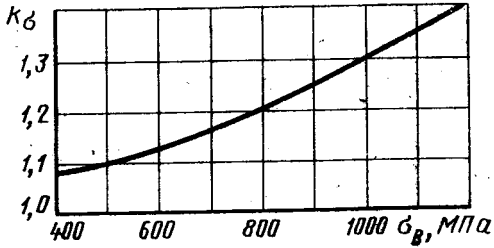
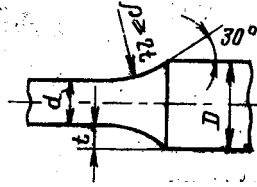
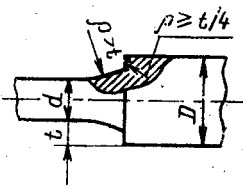
$$K_\tau = 1 + C_\tau \left( K_{\tau\left(\frac{D}{d}=1,4\right)} - 1 \right)$$

Черт. 11

## Ступенчатые валы типов Е и F

Тип Е

Тип F

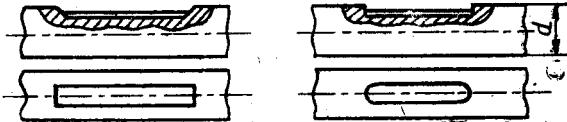
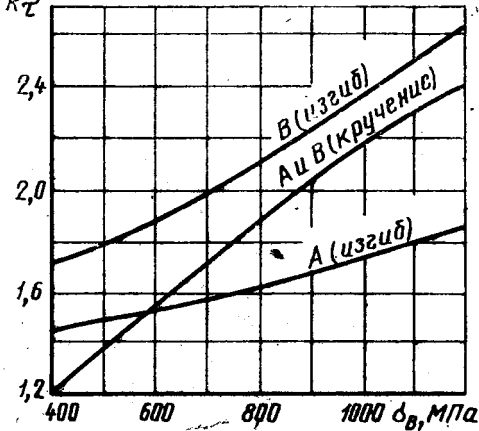
 $D/d = 2, d = 15 \text{ мм}, Rz = 10 \text{ мкм}$ 

Черт. 12

Коэффициенты  $Kσ$ ,  $Kτ$  для валов со шпоночными пазами типа А и В

Тип А

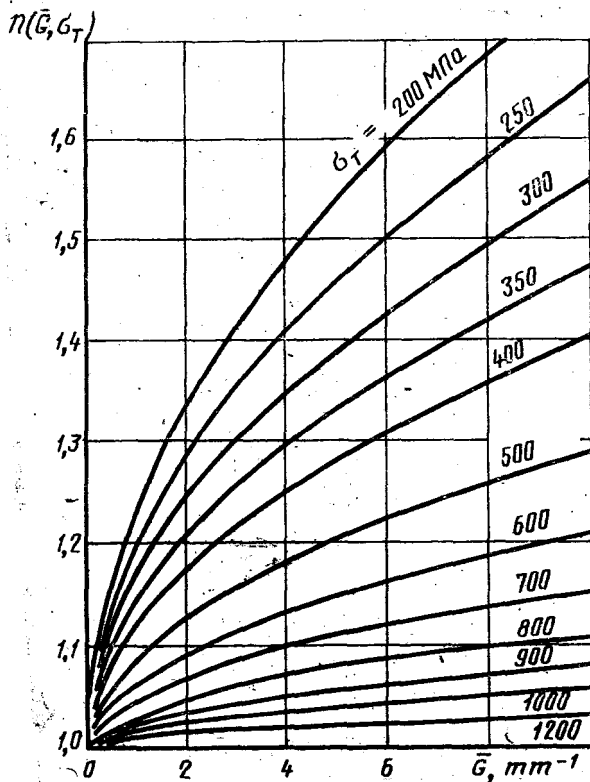
Тип В

 $Kσ$   
 $Kτ$  $d = 15 \text{ мм}, Rz = 10 \text{ мкм}$ 

Черт. 13

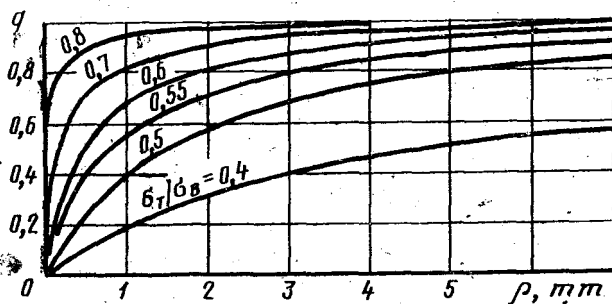


Коэффициенты  $\eta$

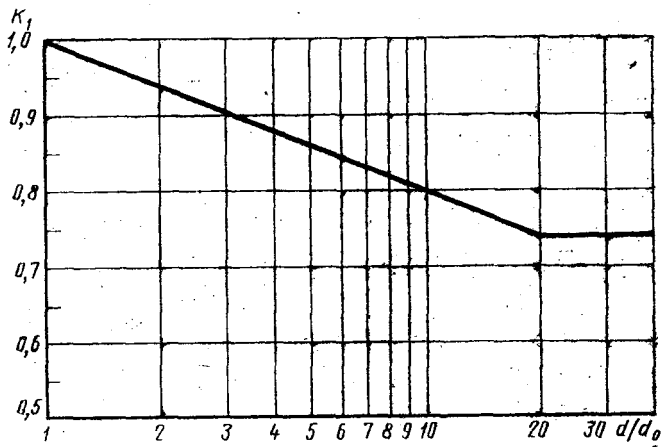


Черт. 14

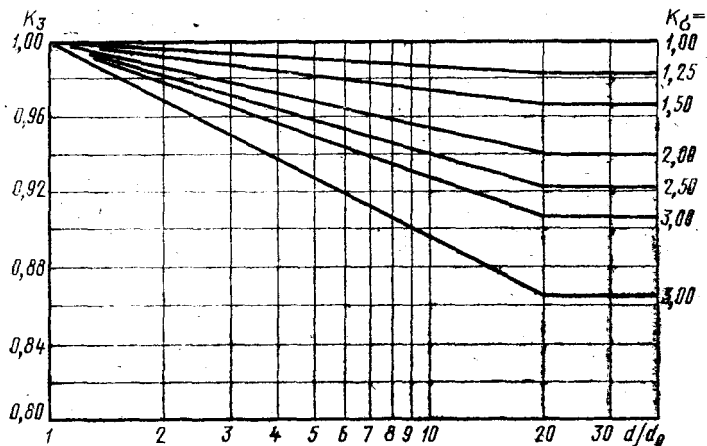
Коэффициенты  $q$



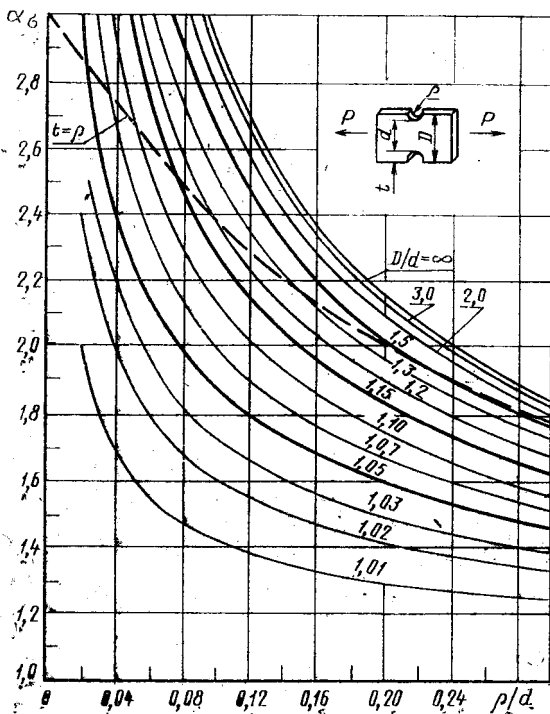
Черт. 15

Коэффициенты  $K_1$ 

Черт. 16

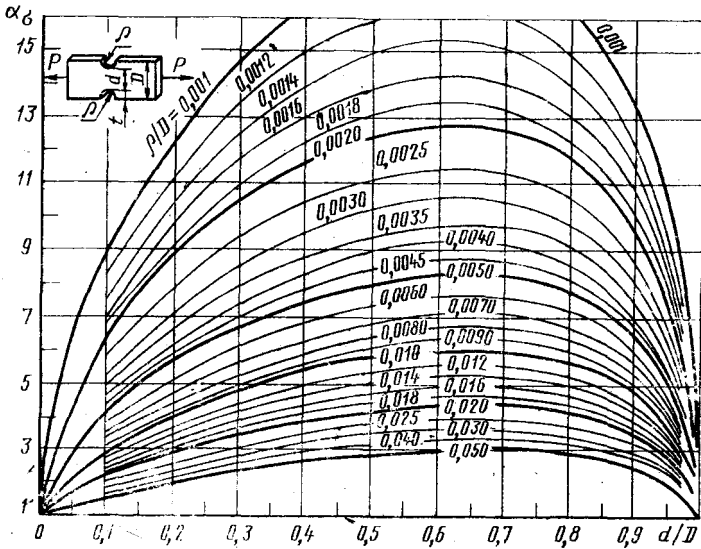
Коэффициенты  $K_2$ 

Черт. 17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ  
КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ  $\alpha_{\sigma}$ ,  $\alpha_{\tau}$ Пластины с двухсторонним надрезом при  
растяжении (черт. 1—3)Пунктирная линия  $t = \rho$  — полуокружность

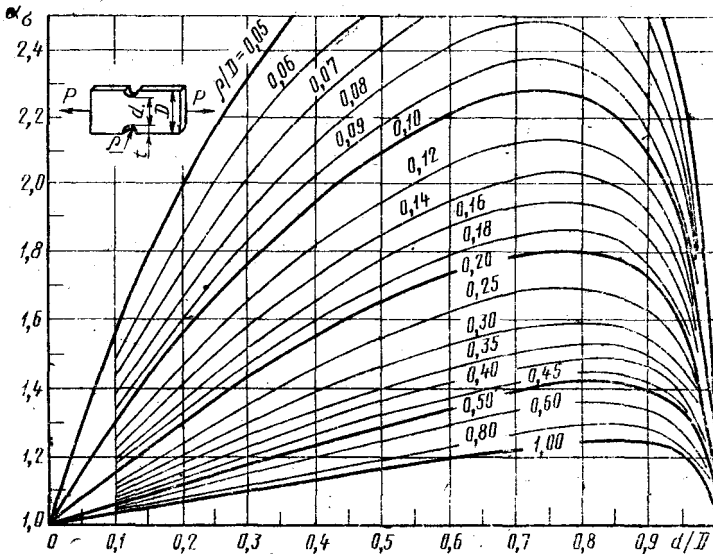
$$\frac{\rho}{d} = 0,02 - 0,30$$

Черт. 1



$$0,001 < q/D < 0,050$$

Черт. 2



$$0,05 < q/D < 1,00$$

Черт. 3

Формулы к черт. 1, 2, 3

$$\alpha_{\sigma} = 1 + \frac{(\alpha_{f\sigma} - 1)(\alpha_{t\sigma} - 1)}{\sqrt{(\alpha_{f\sigma} - 1)^2 + (\alpha_{t\sigma} - 1)^2}}$$

где  $\alpha_{f\sigma} = 1 + 2 \sqrt{\frac{f}{\rho}}$  ;

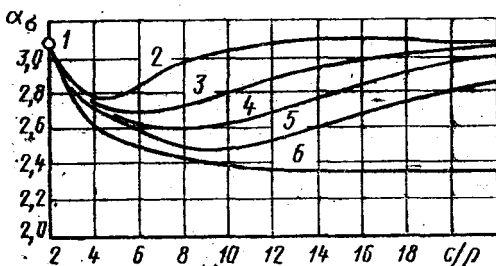
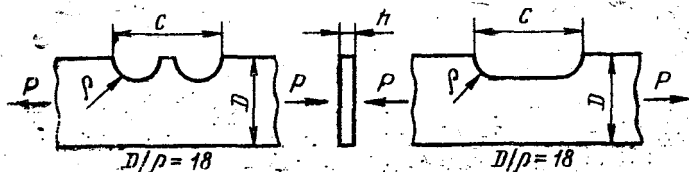
$$\alpha_{t\sigma} = \frac{2\left(\frac{a}{\rho} + 1\right) \sqrt{\frac{a}{\rho}}}{\left(\frac{a}{\rho} + 1\right) \operatorname{arc} \operatorname{tg} \sqrt{\frac{a}{\rho}} + \sqrt{\frac{a}{\rho}}}$$

$$a = \frac{d}{2}$$

Пластины типов а и в при растяжении

Тип а

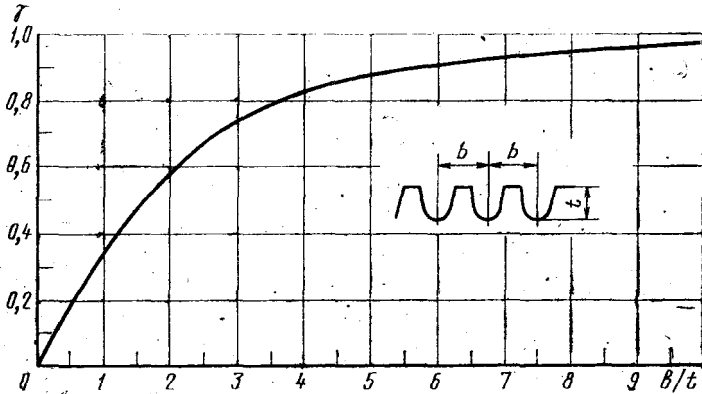
Тип в



1—5—пластины типа а (1—однократный надрез; 2—двукратный надрез; 3—трехкратный надрез; 4—четырехкратный надрез; 5—пятикратный надрез); 6—пластины типа в

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

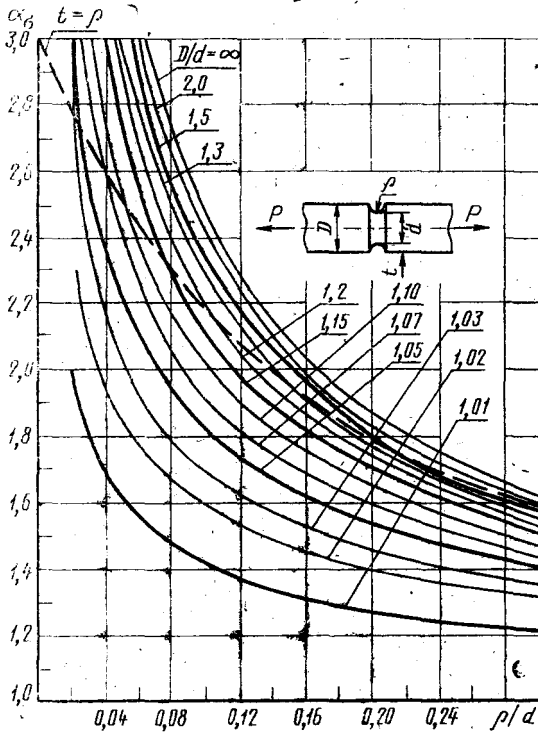
Черт. 4

Коэффициент разгрузки  $\gamma$ 

Черт. 5

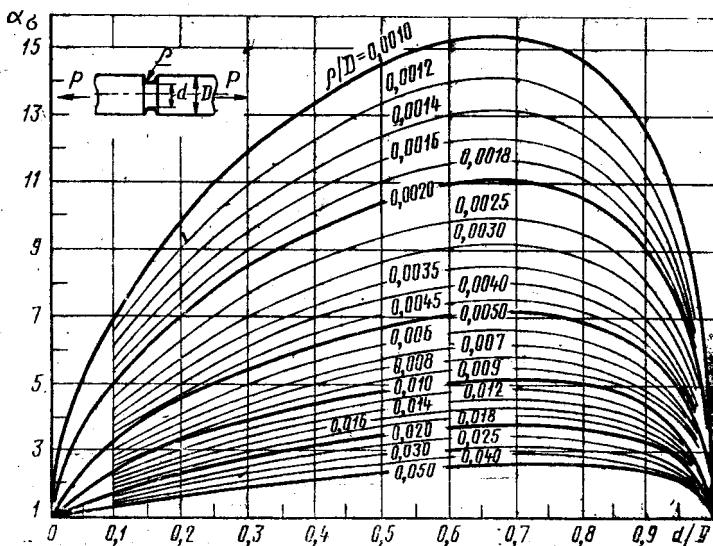
Примечание. Коэффициент  $\gamma$  для многократного надреза находят по диаграммам для однократного надреза при глубине  $t' = \gamma t$ , где  $t$  — глубина многократного надреза,  $t'$  — глубина эквивалентного однократного надреза.

Валы с выточкой при растяжении (черт. 6—8)



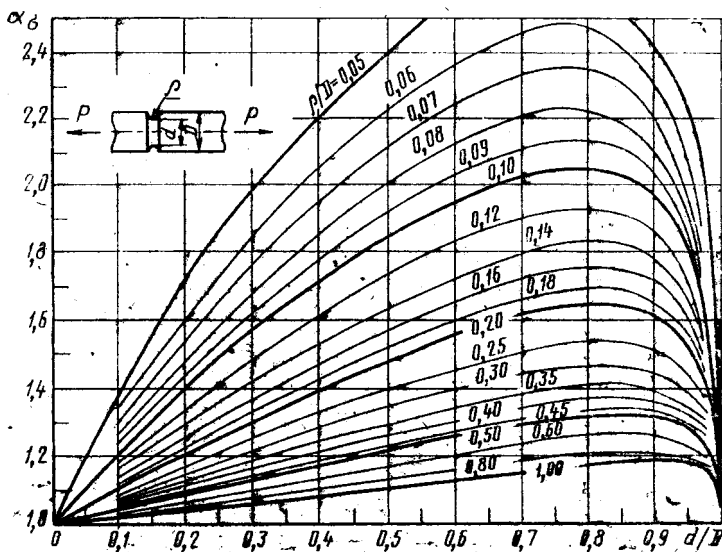
$q/d = 0,02—0,30$

Черт. 6



$0.001 < q/D < 0.050$

Черт. 7



$0.050 < q/D < 1.00$

Черт. 8

## Формулы к черт. 6, 7, 8

$$\alpha_{\sigma} = 1 + \frac{(\alpha_{f\sigma} - 1)(\alpha_{t\sigma} - 1)}{\sqrt{(\alpha_{f\sigma} - 1)^2 + (\alpha_{t\sigma} - 1)^2}},$$

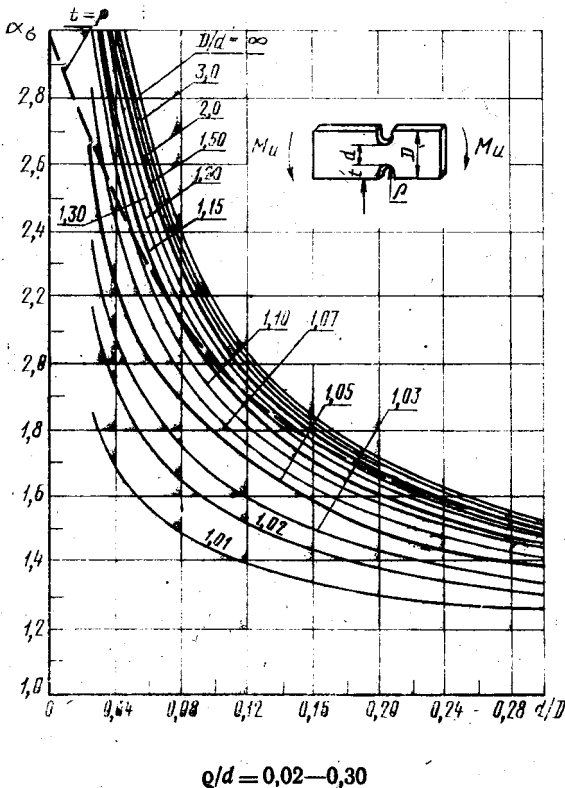
$$\text{где } \alpha_{f\sigma} = 1 + 2\sqrt{\frac{t}{\rho}};$$

$$\alpha_{t\sigma} = \frac{1}{2N} \left( \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1} + 1 \right) \left[ 2 \left( \frac{a}{\rho} + 1 \right) - \left( 1 - \frac{2}{m} \right) \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1} + 1 \right];$$

$$N = \frac{a}{\rho} + \frac{2}{m} \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1} + 2;$$

$$a = \frac{d}{2}; \quad \frac{1}{m} = 0,3.$$

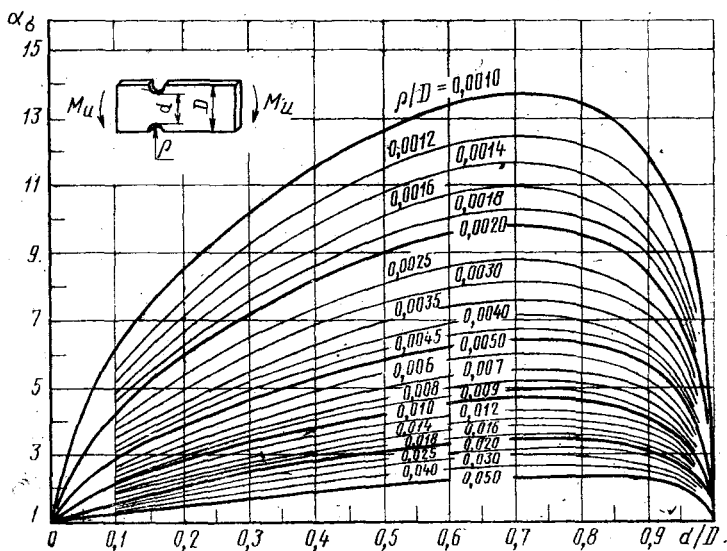
## Пластины с двусторонним надрезом при изгибе (черт. 9—11)



$d/D = 0,02 - 0,30$

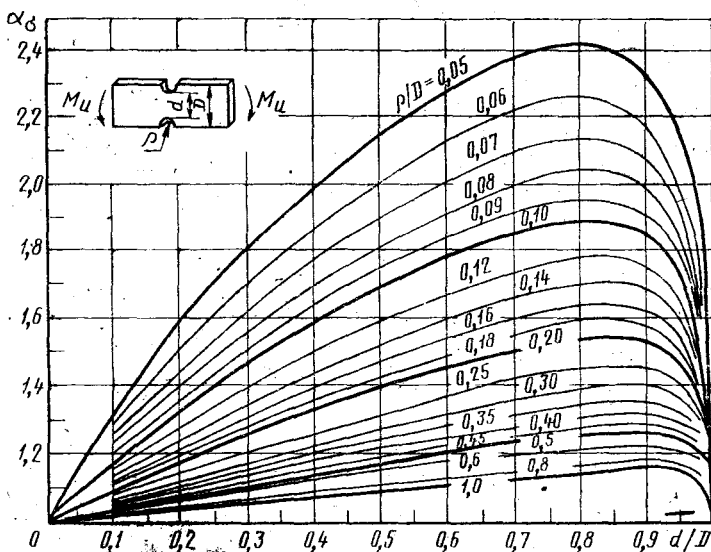
Черт. 9





$0,001 < \rho/D < 0,050$

Черт. 10



$0,05 < \rho/D < 1,00$

Черт. 11

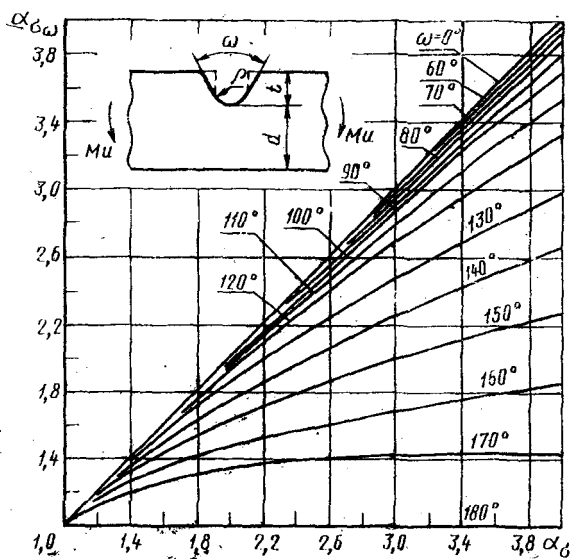
Формулы к черт. 9, 10, 11

$$\alpha_a = 1 + \frac{(\alpha_{f\sigma} - 1)(\alpha_{fz} - 1)}{\sqrt{(\alpha_{fz} - 1)^2 + (\alpha_{f\sigma} - 1)^2}}$$

$$\text{где } \alpha_{f\sigma} = 1 + 2 \sqrt{\frac{t}{p}};$$

$$\alpha_{fz} = \frac{4 \frac{a}{p} \sqrt{\frac{a}{p}}}{3 \left[ \sqrt{\frac{a}{p}} + \left( \frac{a}{p} - 1 \right) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{a}{p}} \right]}$$

Влияние угла надреза на коэффициент концентрации напряжений при изгибе пластины с односторонним надрезом

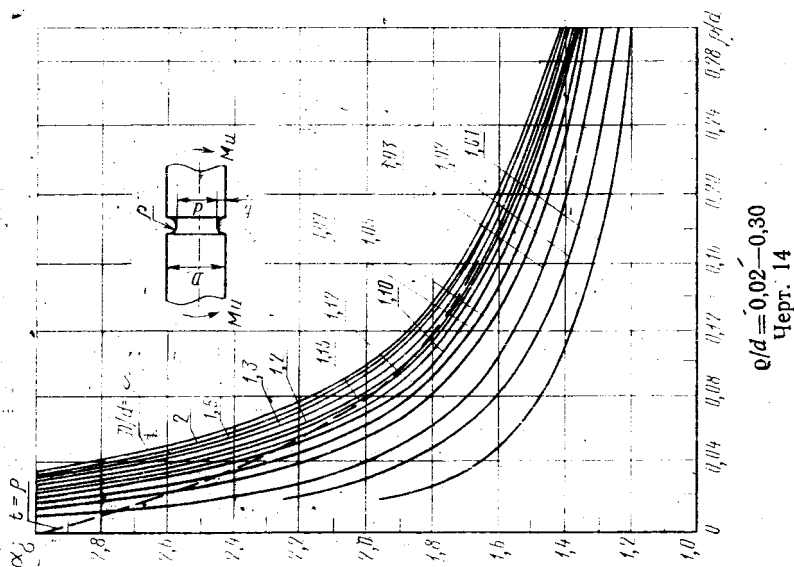


$\alpha_{\sigma}$  — коэффициент концентрации напряжений для надреза с углом  $\omega = 0$  (пунктир на схеме пластины);  
 $\alpha_{\sigma \omega}$  — коэффициент концентрации напряжений для

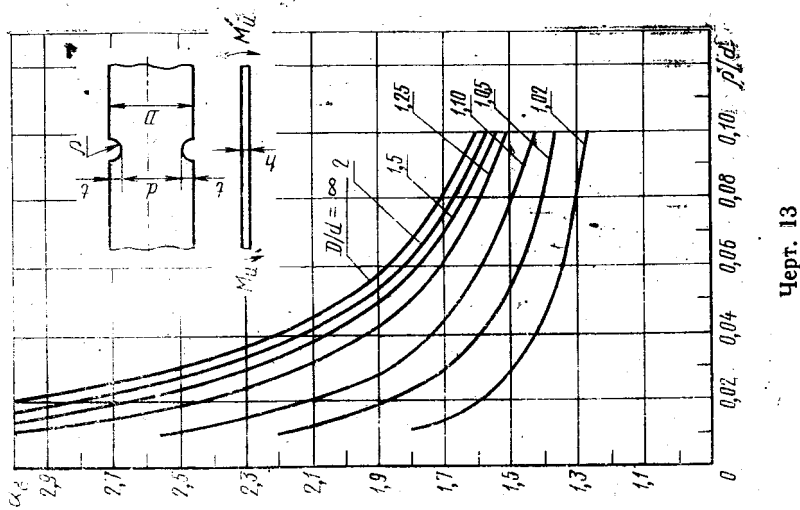
надреза с углом  $\omega$  при тех же размерах

Черт. 12

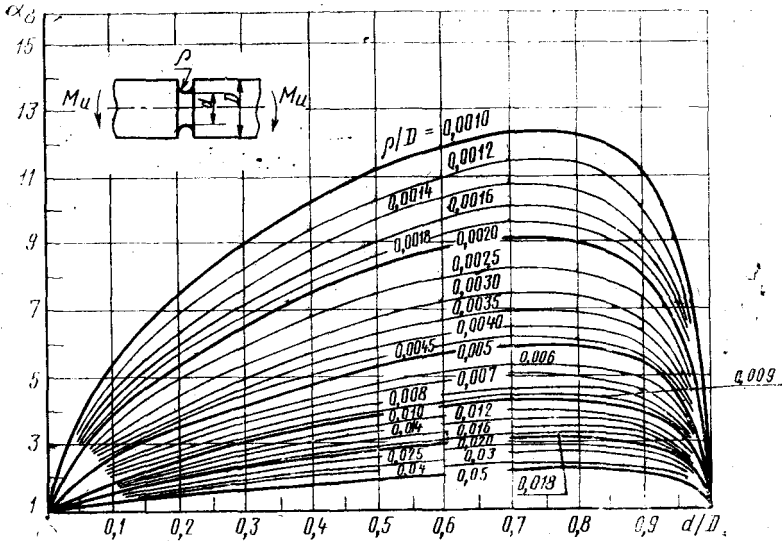
Валы с выточкой при изгибе (черт. 14—16)



Тонкий лист с двухсторонним надрезом при изгибе в плоскости, перпендикулярной плоскости листа ( $t/h$  значительно)

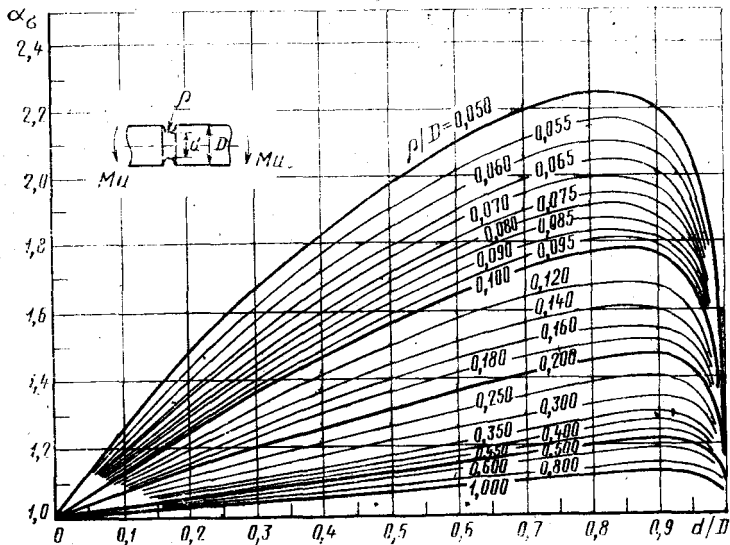


Черт. 13



$$0,001 < \rho/D < 0,050$$

Черт. 15



$$0,050 < \rho/D < 1,00$$

Черт. 16

## Формулы к черт. 14, 15, 16

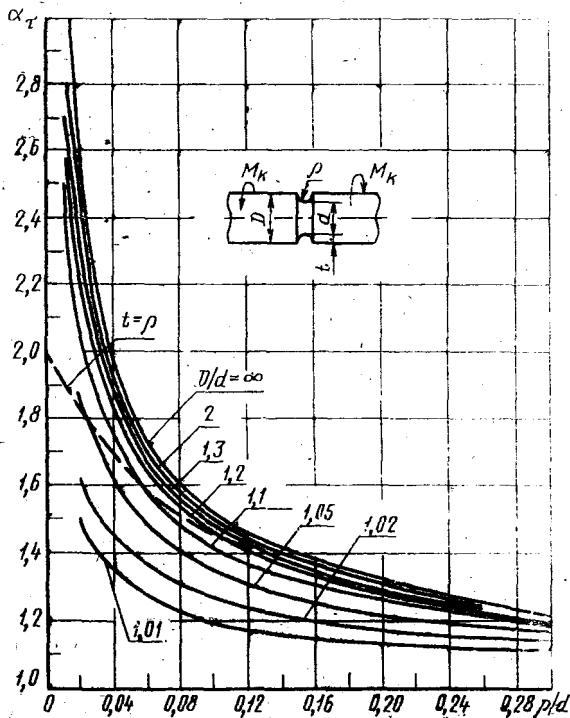
$$\alpha_{\sigma} = 1 + \frac{(\alpha_{f\sigma} - 1)(\alpha_{t\sigma} - 1)}{\sqrt{(\alpha_{f\sigma} - 1)^2 + (\alpha_{t\sigma} - 1)^2}}$$

$$\text{где } \alpha_{f\sigma} = 1 + 2\sqrt{\frac{t}{\rho}};$$

$$\alpha_{t\sigma} = \frac{3}{4N} \left( \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1} + 1 \right) \left[ 3 \frac{a}{\rho} - \left( 1 - \frac{2}{m} \right) \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1} + 4 + \frac{1}{m} \right];$$

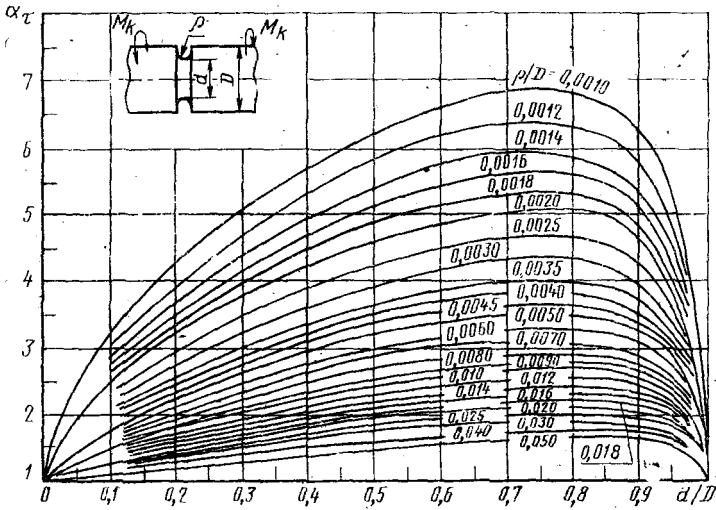
$$N = 3 \left( \frac{a}{\rho} + 1 \right) + \left( 1 + \frac{4}{m} \right) \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1} + \frac{1 + \frac{1}{m}}{1 + \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1}}$$

## Валы с выточкой при кручении (черт. 17—19)



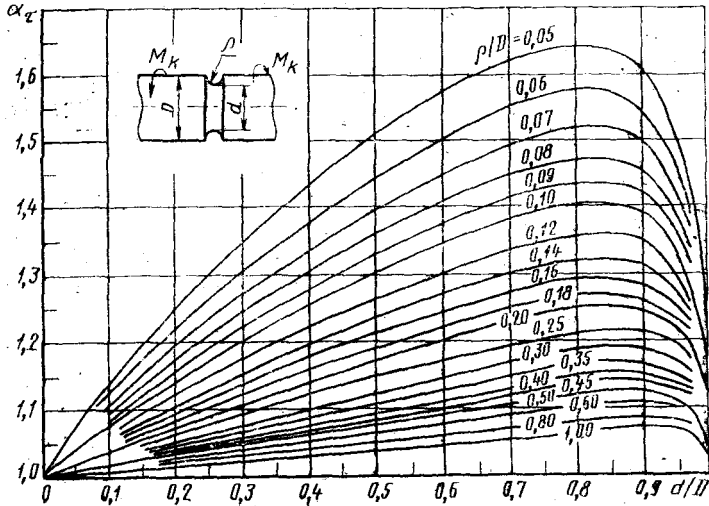
$\rho/d = 0,02 - 0,30$

Черт. 17



$$0,001 \leq \rho/D \leq 0,050$$

Черт. 18



$$0,05 \leq \rho/D \leq 1,000$$

Черт. 19

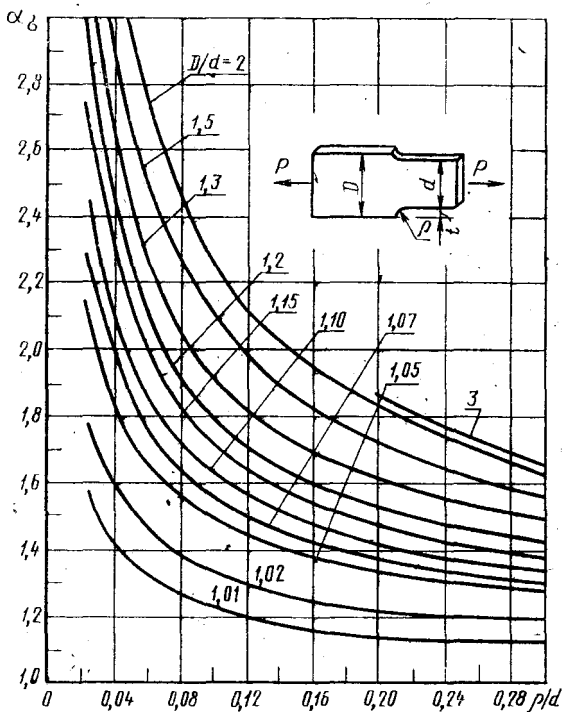
Формулы к черт. 17, 18, 19

$$\alpha_{\tau} = 1 + \frac{(\alpha_{f\tau} - 1)(\alpha_{t\tau} - 1)}{\sqrt{(\alpha_{f\tau} - 1)^2 + (\alpha_{t\tau} - 1)^2}}$$

$$\text{где } \alpha_{f\tau} = 1 + \sqrt{\frac{t}{\rho}}$$

$$\alpha_{t\tau} = \frac{3(1 + \sqrt{\frac{a}{\rho} + 1})^2}{4(1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho} + 1})}$$

Симметричная ступенчатая пластина с галтелями при растяжении (по данным поляризационно-оптических измерений)



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

Черт. 20