

11. ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ЗАПАСЫ ПРОЧНОСТИ

При расчете деталей машин на прочность приходится сравнивать фактические напряжения, возникающие в сечении с некоторыми допускаемыми напряжениями, рассчитанными для данного материала и вида нагружения, то есть

$$\sigma_{\text{ф}} \leq [\sigma],$$

где $\sigma_{\text{ф}}$ – фактически действующее напряжение;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение.

Для определения допускаемых напряжений в машиностроении применяют дифференцированный и табличный методы.

Дифференцированный метод

При определении допускаемых напряжений и запасов прочности учитываются надежность материала, степень ответственности детали, точность расчетных схем, действующие нагрузки и другие факторы, определяющие условия работы деталей.

Допускаемые нормальные $[\sigma]$ и касательные $[\tau]$ напряжения при статических нагрузках рассчитывают по формулам:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{max}}}{[S]};$$

$$[\tau] = \frac{\tau_{\text{max}}}{[S]},$$

где σ_{max} и τ_{max} – соответственно предельные нормальные и касательные напряжения, при достижении которых рассчитываемая деталь выходит из строя из-за недопустимо большой остаточной деформации или разрушения; $[S]$ – нормированный коэффициент безопасности (запас прочности).

При постоянных нагрузках в качестве предельных напряжений σ_{max} и τ_{max} для деталей машин из пластических материалов принимают пределы текучести σ_{T} и τ_{T} , а из хрупких материалов – предел прочности (временное сопротивление) $\sigma_{\text{в}}$ и $\tau_{\text{в}}$.

Допускаемый коэффициент запаса прочности:

$$[S] = [S_1] [S_2] [S_3],$$

где $[S_1]$ – коэффициент, учитывающий точность расчетной схемы (при высокой точности – 1; средней – 1,2; ниже средней точности – 1,6);

$[S_2]$ – коэффициент, учитывающий качество материала (стальные детали из проката обыкновенного качества 1,5–1,8; из высококачественных сталей 1,05–1,3);

$[S_3]$ – коэффициент безопасности (для простых недорогих деталей – 1; для дорогостоящих и повышенной надежности – 1,5).

При переменных нагрузках в качестве предельных напряжений для деталей из любых материалов принимают соответственно пределы выносливости σ_{-1} при изгибе, σ_{-1p} при растяжении и τ_{-1} при кручении.

В случае симметричного цикла напряжений расчетный коэффициент запаса прочности:

при растяжении или сжатии:

$$S_{\text{оп}} = \frac{K_d \cdot K_v \cdot \sigma_{-1p}}{K_{\sigma} \cdot \sigma_p};$$

при изгибе:

$$S_{\sigma} = \frac{K_d \cdot K_v \cdot \sigma_{-1}}{K_{\sigma} \cdot \sigma_u};$$

при кручении

$$S_{\tau} = \frac{K_d \cdot K_v \cdot \tau_{-1}}{K_{\tau} \cdot \tau_m},$$

где K_d – масштабный коэффициент;
 K_v – коэффициент поверхностного упрочнения;
 σ_{-1} и τ_{-1} – пределы выносливости при симметричном цикле напряжений;
 K_{σ} и K_{τ} – эффективные коэффициенты концентрации напряжений;
 σ_u и τ_m – максимальные изгибающие и касательные напряжения.
 При сложном напряженном состоянии для любых циклов напряжений

$$S = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}}.$$

Значения коэффициентов K_{σ} , K_{τ} , K_v и K_d приведены в табл. 11.1–11.3.

Таблица 11.1

Значения коэффициентов K_{σ} и K_{τ}

Место концентрации напряжений в детали	K_{σ}		K_{τ}	
	при σ_B , МПа			
	≤ 700	≥ 1000	≤ 700	≥ 1000
Галтель				
при $r/d=0,02$	2,5	3,5	1,8	2,1
0,06	1,85	2,0	1,4	1,53
0,1(в случае $D/d = 1,25-2$)	1,6	1,64	1,25	1,35
Выточка при $t = r$ и $r/d = 0,02$	1,9	2,35	1,4	1,7
0,06	1,8	2,0	1,35	1,65
0,1	1,7	1,85	1,25	1,5
Поперечное отверстие при $d_0/d = 0,05-0,25$	1,9	2,0	1,75	2,0
Шпоночная канавка	1,7	2,0	1,4	1,7
Шлицы	При расчете по внутреннему диаметру $K_{\sigma} = K_{\tau} = 1$			
Посадка с напрессовкой при $p \geq 20$ МПа	2,4	3,6	1,8	2,5
Резьба	1,8	2,4	1,2	1,5

Примечание: r – радиус галтели (выточки); d и D – диаметры частей вала, примыкающих к галтели;
 t – глубина выточки; d_0 – диаметр поперечного отверстия.

Таблица 11.2

Значения коэффициента K_d

Вид деформации	Диаметр вала d , мм							
	15	20	30	40	50	70	100	200
Изгиб углеродистой стали	0,95	0,92	0,88	0,85	0,81	0,76	0,70	0,61
Изгиб высокопрочной легированной стали и кручение всех сталей	0,87	0,83	0,77	0,73	0,70	0,65	0,59	0,52

Значения коэффициента K_σ

Вид поверхностной обработки	Предел прочности сердцевины σ_B , МПа	Валы		
		гладкие	с малой концентрацией напряжений $K_\sigma = 1,5$	с большой концентрацией напряжений $K_\sigma = 1,8-2$
Закалка с нагревом	600–800	1,5–1,7	1,6–1,7	2,4–2,8
ТВЧ	800–1000	1,3–1,5	–	–
Азотирование	900–1200	1,1–1,25	1,5–1,7	1,7–2,1
Цементация	400–600	1,8–2,0	3	–
	700–800	1,4–1,5	–	–
	1000–1200	1,2–1,3	2	–
Дробеструйный наклеп	700–1250	1,1–1,25	1,5–1,6	1,7–2,1
Накатка роликом	–	1,2–1,3	1,5–1,6	1,8–2,0

Ниже приведены приближенные эмпирические зависимости пределов выносливости в случае симметричного цикла напряжений.

Для углеродистых сталей:

при изгибе $\sigma_{-1} = (0,4-0,6) \sigma_B$;
при растяжении и сжатии $\sigma_{-1p} = (0,65-0,75) \sigma_{-1}$;
при кручении $\tau_{-1} = (0,55-0,65) \sigma_{-1}$.

Для легированных сталей:

при изгибе $\sigma_{-1} = (0,45-0,55) \sigma_B$;
при растяжении и сжатии $\sigma_{-1p} = (0,7-0,9) \sigma_{-1}$;
при кручении $\tau_{-1} = (0,5-0,65) \sigma_{-1}$.

Табличный метод

Допускаемые напряжения принимают по нормам, выработанным практикой и систематизированным в виде таблиц. Этот метод менее точен, наиболее прост и удобен для практического использования при проектных и проверочных расчетах и может быть рекомендован студентам для курсового проектирования деталей машин.

Табличные значения допустимых напряжений даны в соответствующих разделах данного учебного пособия.