

КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ

Студенты гр. 10111123 Д В. Заровский, гр. 10111223 А. О. Зайцев,
гр. 10107123 А. Д. Богушевич

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Реут Л.Е.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что равномерное распределение напряжений по сечению растянутого или сжатого стержня будет наблюдаться только в тех случаях, когда площадь сечения постоянна по длине или изменяется плавно, без резких скачков и переходов (рисунок 1).

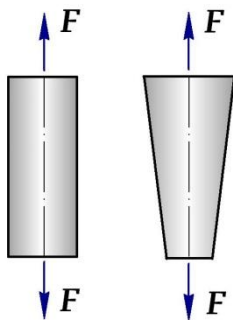


Рисунок 1. – Стержень постоянного и плавно изменяющегося сечения

В этом случае формула $\sigma = F/A$ дает достаточно точные и достоверные значения напряжений, подтверждаемые опытным путем, и проверку прочности элемента можно выполнять по условию

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A} \leq [\sigma]. \quad (1)$$

Однако реальные элементы конструкций, как правило, не имеют идеально плавной продольной формы и по своему функциональному назначению наделены разного рода вырезами, выточками, канавками, отверстиями, ребрами, пазами и т. д., которые резко изменяют контур тела и форму сечения (рисунок 2)

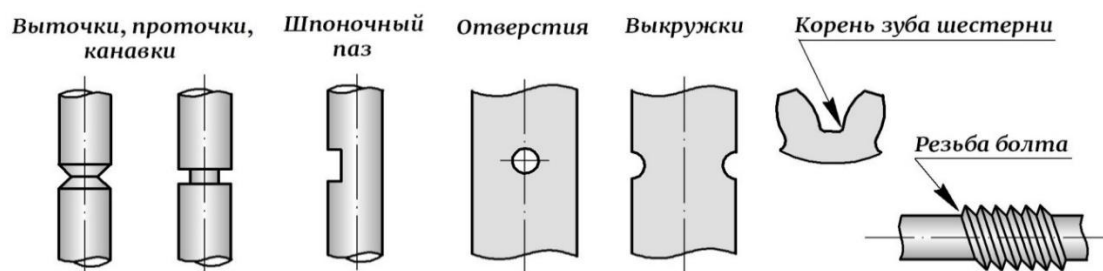


Рисунок 2. – Концентраторы напряжений

В таких элементах напряжения неравномерно распределены по сечению и в местах нарушения формы они имеют величину значительно более высокого порядка, чем в остальных точках сечения.

Явление повышения напряжений в местах резкого изменения геометрической формы детали называется КОНЦЕНТРАЦИЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ, а факторы, вызывающие концентрацию, – КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЙ.

Эти напряжения локализируются на очень малой площади сечения – около самого края выреза, отверстия и т. д. и носят местный характер, поэтому называются **местными напряжениями**, но именно они могут сыграть решающую роль для прочности детали. При этом чем резче переходы и острее подрезы, тем выше местные максимальные напряжения в области концентратора.

Рассмотрим распределение напряжений в растягиваемой полосе, ослабленной сквозным отверстием (рисунок 3), и введем некоторые понятия и величины, используемые в расчетах на прочность при концентрации напряжений.

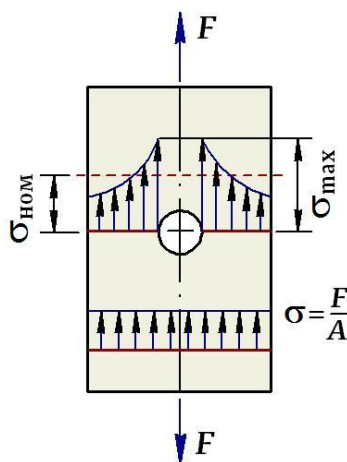


Рисунок 3. – Изменение напряжений при отсутствии и наличии концентратора

Номинальное напряжение – это напряжение, вычисленное на основании предположения об отсутствии концентрации напряжений, но с учетом ослабленного сечения:

$$\sigma_{\text{ном}} = \sigma_{\text{ср}} = \frac{F}{A_{\text{ослаб}}} . \quad (1)$$

Коэффициент концентрации напряжений — это количественная характеристика концентрации напряжений, показывающая, во сколько раз максимальные напряжения в области концентратора больше номинального (среднего по сечению), напряжения:

$$\alpha_{\text{к}} = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{\text{ном}}} \quad (2)$$

Тогда согласно (2) максимальные напряжения около концентратора определяются как

$$\sigma_{\text{max}} = \alpha_{\text{к}} \sigma_{\text{ном}} . \quad (3)$$

Различают коэффициенты концентрации напряжений:

★**теоретический коэффициент концентрации напряжений** $\alpha_{\text{к(т)}}$, зависящий от размеров и формы концентратора, вычисляемый методами теории упругости. Его значение для различных видов и размеров концентраторов представлено в справочной литературе. Теоретический коэффициент концентрации $\alpha_{\text{к(т)}} > 1$;

★**действительный (эффективный) коэффициент концентрации напряжений** $\alpha_{\text{к(д)}}$, зависящий от размеров и формы концентратора, а также от механических свойств материала. Определяется экспериментально как $\alpha_{\text{к(д)}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{в(к)}}}$, где $\sigma_{\text{в}}$ и $\sigma_{\text{в(к)}}$ – предел прочности образца соответственно **без концентратора** и **при наличии концентратора**.

Действительный коэффициент концентрации $1 \leq \alpha_{\text{к(д)}} < \alpha_{\text{к(т)}}$ (рисунок 4).

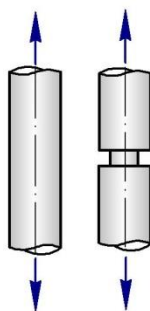


Рисунок 4. – Экспериментальное определение действительного коэффициента концентрации напряжений

Прочность элементов при наличии концентратора и использование в расчетах того или иного коэффициента концентрации напряжений зависит от свойств материала. Рассмотрим, каким образом *пластичные* и *хрупкие* материалы реагируют на наличие концентрации напряжений.

Хрупкие материалы

При нагружении образца во всех точках поперечного сечения возникают напряжения, но самое большое значение они имеют изначально около концентратора. По мере увеличения нагрузки напряжения растут и именно в этой области они быстрее всего достигают своего предельного (опасного) значения. Для хрупких материалов опасным является предел прочности σ_B и как только около концентратора напряжения достигнут максимального значения – $\sigma_{\max} = \sigma_B$ (рисунок 5), здесь появляется трещина и начинается разрушение образца. Поэтому для хрупких материалов принимают теоретический коэффициент концентрации $\alpha_K = \alpha_{K(T)}$ и условием прочности с учетом (1) является

$$\sigma_{\max} = \alpha_{K(T)} \sigma_{\text{ном}} \leq [\sigma].$$

Хрупкие материалы крайне чувствительны к концентрации напряжений и при статическом, и при динамическом нагружении. При изготовлении деталей из хрупких материалов следует избегать глубоких вырезов, надразов и резких переходов сечений. Для них необходима тщательная обработка поверхности, так как даже мелкие следы от шлифовального круга являются концентраторами напряжений.

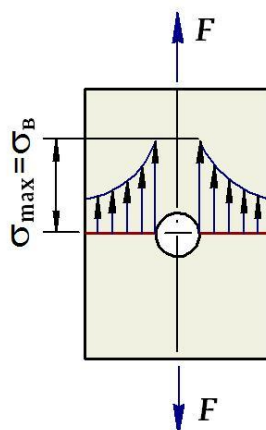


Рисунок 5. – Концентрация напряжений в хрупких материалах

Пластичные материалы

При нагружении образца во всех точках поперечного сечения возникают напряжения, но самое большое значение изначально они имеют около концентратора. По мере увеличения нагрузки напряжения растут, и быстрее всего именно в этой области они достигают своего предельного (опасного) значения. Для пластичных материалов опасным напряжением является предел текучести σ_T , и как только около концентратора напряжения достигнут значения $\sigma_{\max} = \sigma_T$, рост напряжений здесь приостанавливается, в то время как в остальной части сечения напряжения продолжают расти и зона пластичности около концентратора постепенно увеличивается (рисунок 6).

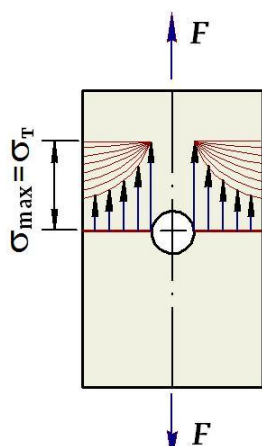


Рисунок 6 – Концентрация напряжений в пластичных материалах

Прочность образца будет полностью потеряна тогда, когда во всех точках напряжения достигнут значения σ_T .

Пластичные материалы мало чувствительны к концентрации напряжений, так как пластичность материала способствует их выравниванию по сечению. Однако это наблюдается только при статическом нагружении. При динамических нагрузках, когда деформации и напряжения быстро изменяются во времени, выравнивание напряжений произойти не успевает и вредное влияние концентрации напряжений сохраняется. Для пластичных материалов $\alpha_{k(д)} \approx 1$, поэтому прочность таких деталей можно проверять по условию

$$\sigma_{\max} = \alpha_{k(т)} \sigma_{\text{ном}} \approx \sigma_{\text{ном}} \leq [\sigma].$$

Концентрация напряжений представляет серьезную опасность для прочности элементов. Анализ разрушений конструкций показывает, что значительное большинство поломок и появление хрупких трещин возникают именно вблизи концентраторов напряжений. При этом концентраторами могут быть не только элементы, необходимые по своему функциональному назначению, – отверстия, вырезы, выточки, галтели и проч., но и различные неровности поверхности – царапины, риски, метки, заусенцы, зоны с локальной неоднородностью материала внутри тела, а также любые соединения – сварные, клеевые, болтовые, заклепочные и др.

Опасность концентрации напряжений имеет место и при статических, и при динамических нагрузках, однако в последнем случае она многократно выше и особенно возрастает в условиях низких температур, способствующих охрупчиванию материала.

Литература

1. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М.: Наука, 1976. – 607 с.
2. Реут, Л.Е. Экспериментальное изучение свойств материалов. [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей / Л. Е. Реут; Белорусский национальный технический университет, кафедра «Теоретическая механика и механика материалов». – Минск: БНТУ, 2022. – Режим доступа <https://rep.bntu.by/handle/data/112142>.