

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПРОЧНОСТИ ПО НАИБОЛЬШИМ УДЛИНЕНИЯМ ДЛЯ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ

Л. М. СЕДОКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

Инженерный расчет на прочность должен дать количественную оценку опасности разрушения или наступления другого вида предельного состояния. Исходными данными для такой оценки являются известные компоненты напряженного состояния и механические свойства материала. Указанная оценка производится на основе выбранного критерия прочности. Однако любой критерий прочности не может отразить все многообразие факторов, так или иначе влияющих на состояние материала [1].

Вместе с тем выбор надлежащей теории прочности и разработка методов их применения к различным материалам в разных условиях продолжают оставаться важными вопросами инженерных расчетов, значение которых усиливается стремлением к уменьшению фактических запасов прочности и созданием современных высокопрочных материалов.

Обычно считают, что для хрупких материалов следует пользоваться первой и второй теориями прочности. Между тем расчетные формулы по второй теории прочности (теории наибольших удлинений) не отражают главной особенности хрупких материалов: их разное сопротивление растяжению и сжатию.

Как известно, эту особенность хрупких материалов учитывают теории О. Мора и Баландина. Последние можно рассматривать как обобщение соответственно теорий максимальных касательных напряжений и энергетической теории, рекомендуемых для расчетов на прочность пластичных материалов [1].

В этой связи возникает необходимость разработки таких расчетных формул, основанных на теории наибольших удлинений, которые учитывали бы различную прочность хрупких материалов на растяжение и сжатие.

На рис. 1 в безразмерных координатах показан контур прочности по первой (квадрат) и по второй (ромб) теориям прочности для материалов одинаково сопротивляющихся растяжению и сжатию [2, 3].

Контур прочности по второй теории прочности (ромб) построен без учета того, что при примерно равных численно и одинаковых по знаку двух главных напряжениях наибольшее удлинение по своему абсолютному значению будет иметь место в направлении третьего главного напряжения даже в том случае, если последнее будет равно нулю.

Контур прочности по второй теории прочности для плоского напряженного состояния полностью определяется шестью уравнениями (коэффициент поперечной деформации принят равным 0,5).

$$2\sigma_1 - \sigma_2 = \pm 2\sigma_s,$$

$$2\sigma_2 - \sigma_1 = \pm 2\sigma_s,$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 = \pm 2\sigma_s,$$

что соответствует шестиугольнику B_1-B_6 . Построенные на рис. 1 два контура имеют 6 общих точек: 4 на осях координат и 2 при равных по величине главных напряжениях [4].

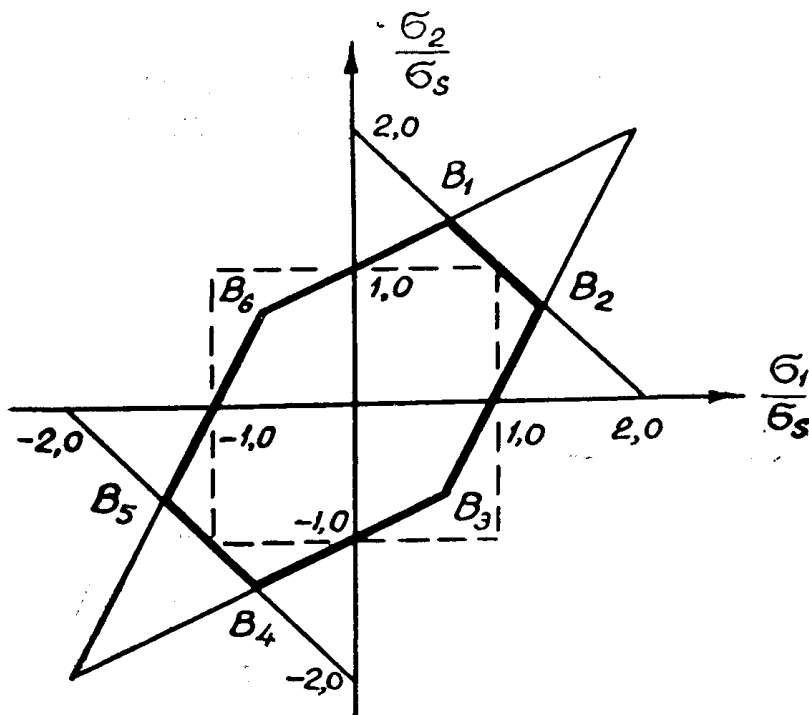


Рис. 1. Контур прочности материалов одинаково сопротивляющихся растяжению и сжатию по теории наибольших нормальных напряжений (квадрат) и по теории наибольших удлинений

На рис. 2 построен контур прочности для материалов, имеющих разное сопротивление растяжению и сжатию, по теории наибольших нормальных напряжений (пунктир) [2] и по теории наибольших удлинений с ограничениями в области одноименных главных напряжений [4] и переходными линиями $A_2 B_3$ и $A_6 B_6$.

Линии $A_2 A_3$ и $A_5 A_6$ соответствуют теории О. Мора.

Луч OB_3 разделяет напряженные состояния, приводящие к разрушению от сжимающих напряжений по теории наибольших нормальных напряжений, и напряженные состояния, приводящие к разрушению от растягивающих напряжений по той же теории. При построении контура прочности B_1-B_6 было принято, что прямые $B_3 B_4$ и $B_5 B_6$ продолжаютя только до пересечения с лучами OB_3 и OB_6 . Линии $A_2 B_3$ и $A_6 B_6$ являются переходными от растяжения к сжатию и наоборот.

Уравнения прямой $B_3 B_4$

$$\nu \frac{\sigma_2}{\sigma_{вр}} - \mu\nu \frac{\sigma_1}{\sigma_{вр}} = -1. \quad (1)$$

Уравнение прямой

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{вр}} - \mu\nu^2 \frac{\sigma_2}{\sigma_{вр}} = 1; \quad \nu = \frac{\sigma_{вр}}{|\sigma_{вд}|}. \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) позволяют получить расчетные формулы для определения разрушающих напряжений. Если $\sigma_1 : |\sigma_2| > \nu$, то разрушающее растягивающее напряжение определяется прямой

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_B}{1 - \mu \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \nu^2} \quad (3)$$

Если $\sigma_1 : |\sigma_2| < \nu$, то разрушающее сжимающее напряжение будет определяться прямой

$$\sigma_2 = - \frac{\sigma_{bd}}{1 - \mu \frac{\sigma_1}{\sigma_2}} \quad (4)$$

Коэффициент поперечной деформации в ходе деформации изменяется, приближаясь к своему предельному значению $\mu = 0,5$. Как показывают опыты И. М. Тюневой [5], для ст. 45 и меди при пласти-

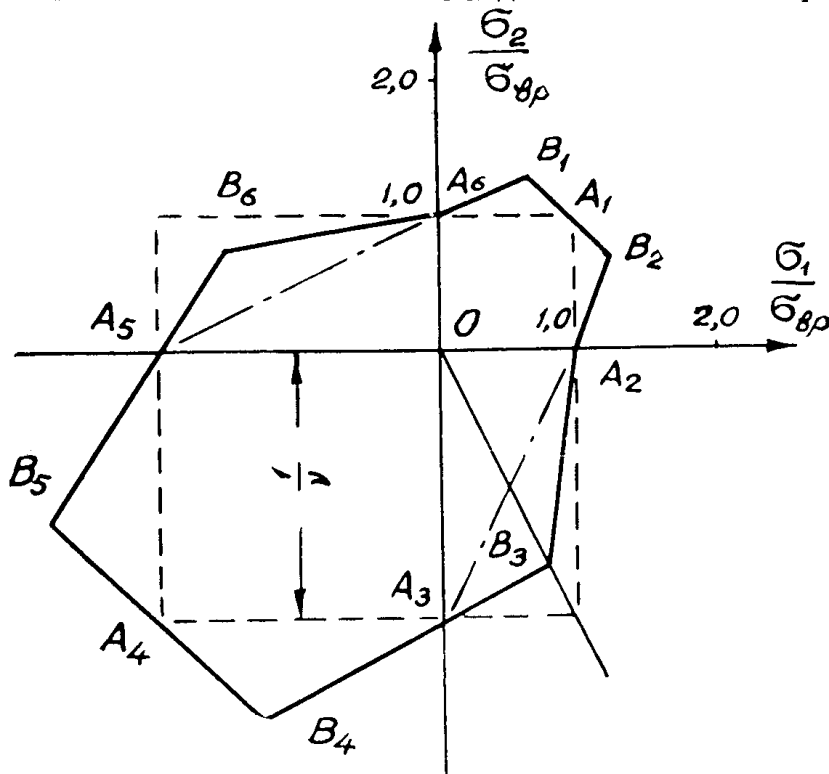


Рис. 2. Контуры прочности для хрупких материалов по теории наибольших нормальных напряжений (пунктир) и по теории наибольших удлинений с ограничениями в области одноименных напряжений и переходными линиями A_2B_3 и A_5A_6 . Линии A_2A_3 и A_5A_6 соответствуют теории О. Мора

ческой деформации в 1% коэффициент поперечной деформации возрастает от 0,30 до 0,45. Хрупкие материалы перед разрушением дают некоторую остаточную деформацию. Эта деформация при сжатии образцов из серого чугуна ($HB = 160-180$) составила 8% [6]. Хотя остаточная деформация, предшествующая разрушению хрупких материалов, весьма мала, ее, видимо, достаточно, чтобы коэффициент μ значительно приблизился к своему предельному значению.

З. М. Конюшко [7] экспериментально определяла прочность термически обработанных инструментальных сталей на растяжение, на сжа-

тие и на сдвиг. Предел прочности на сдвиг определялся путем испытания тонкостенных коротких трубчатых образцов.

Зная фактическую прочность материалов на растяжение и на сжатие, по принятому критерию прочности можно рассчитать прочность на сдвиг. В таблице приведено три варианта расчета:

Т а б л и ц а

Расчетные и фактические значения прочности на сдвиг закаленных инструментальных сталей по опытам З. М. Конюшко

Сталь	Прочность при растяжении $\sigma_{вр}$ кг/мм ²	ν	Предел прочности на сдвиг, кг/мм ²			
			Опыт	Расчет		
				по О. Мору	по П. Баландину	по предлагаемой методике
P18	198	0,48	172	134	165	178
P9	216	0,48	185	146	180	193
9XC	213	0,42	183	150	190	195
У12	210	0,41	179	149	189	193
40X	158	0,50	137,5	105	129	140

а) по теории прочности О. Мора

$$\tau_{сд} = \frac{1}{1 + \nu} \sigma_{вр}; \quad (5)$$

б) по теории прочности П. Баландина

$$\tau_{сд} = \frac{1}{\sqrt{3\nu}} \sigma_{вр}; \quad (6)$$

в) по предлагаемой методике (3)

$$\tau_{сд} = \frac{1}{1 + 0,5\nu^2} \sigma_{вр}. \quad (7)$$

Приведенные в таблице данные показывают плохое соответствие теории О. Мора опыту, что отмечалось и ранее, и примерно одинаковое удовлетворительное подтверждение расчетных формул (6) и (7). Формула (6) при малых значениях коэффициента ν дает предел прочности на сдвиг, значительно превышающий предел прочности на растяжение, что мало вероятно.

Изложенное позволяет рекомендовать формулы (3) и (4), полученные на основе теории наибольших удлинений, как возможные выражения критерия прочности хрупких материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Д. Пономарев и др. Расчеты на прочность в машиностроении. Том 1, Машгиз, М., 1956.
2. М. М. Филоненко-Бородич и др. Курс сопротивления материалов. Изд-во технико-теоретической лит., М., 1956.
3. Д. ж. Марин. Пластичность и ползучесть технических материалов. Сб. Механика, № 4 (80), 1963.
4. Л. М. Седоков. Сопротивление материалов большим пластическим деформациям. Томск, Изд-во ТГУ, 1966.
5. И. М. Тюнеева. Об изменении объема при пластическом деформировании. Научн. докл. высш. школы, физ.-матем. н., № 3, 111-115, 1959.
6. Л. М. Седоков. Исследование пластичности и прочности серого чугуна. Известия высш. учебн. завед. Физика, № 5, 1959.
7. З. М. Конюшко. Исследование прочности термически обработанных инструментальных сталей. Юбилейный сборник МВТУ. Расчеты на прочность в машиностроении. № 46, Машгиз, 1955.