

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Действительный член АН УССР Н. Н. ДАВИДЕНКОВ, А. Н. СТАВРОГИН
и Н. А. ПЕТРОВА

КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ ПРИ ХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ

Вопрос о том, какой формальной теории прочности подчиняется хрупкое разрушение материалов, является принципиально наиболее простым, так как здесь отсутствует усложняющее влияние пластической деформации, предшествующей вязкому разрушению. И тем не менее этот вопрос до сих пор не имеет однозначного решения из-за недостаточности экспериментального материала.

Обстоятельные исследования, проведенные с серым чугуном (¹, ²), показали, что ни одна из существующих теорий к чугуну полностью неприменима. Однако чугун является весьма неоднородным материалом, а, кроме того, разрушение его далеко не может считаться хрупким, особенно при сжатии, которое сопровождается значительной остаточной деформацией. Поэтому нам казалось целесообразным провести исследование с более хрупкими материалами; в качестве таковых были выбраны: стекло как представитель аморфной группы и гипс — кристаллической. Кроме того, частично исследована была и сталь в хрупком состоянии.

Опыты проводились над тонкостенными трубами, в которых создавалось напряженное состояние, близкое к плоскому, путем внутреннего гидростатического давления с одновременным наложением осевой сжимающей или растягивающей силы. Были приняты меры к соблюдению принципа пропорционального нагружения («простого» по терминологии А. А. Ильюшина).

Стекланные трубчатые образцы имели внутренний диаметр 35 ÷ ÷ 37 мм и толщину стенок 1 мм при рабочей длине 60 мм; гипсовые образцы имели внутренний диаметр 40 мм и толщину стенок 3 мм при рабочей длине 60 мм.

Для достижения возможной однородности отливка производилась под давлением в 1700 атм. При проведении опытов внутрь образца вводился мешок из тонкой резины, препятствовавший продавливанию жидкости (трансформаторного масла) в стенку образца.

Для проверки применимости так называемой «второй» гипотезы прочности (наибольших удлинений) надо было знать пуассонову постоянную. Ее определение было произведено в опытах на растяжение и сжатие тех же трубчатых образцов путем измерения продольной и поперечной деформаций при помощи проволоочных тензометров. Были получены следующие значения: для стекла 0,234; для гипса 0,216. Эти значения оставались постоянными до самого разрушения, что свидетельствовало об отсутствии остаточной деформации.

На рис. 1 представлены графически полученные в опытах со стеклом разрушающие напряжения (каждая точка — среднее из 10—12 опытов) в координатах «осевое растяжение (сжатие) σ_1 — окружное растяжение σ_2 ». График наглядно показывает, что по крайней мере в пределах до $\sigma_1 = -7\sigma_2$, стекло строго подчиняется гипотезе наибольших нормальных напряжений (так называемой «первой» гипотезе прочности). Пунктирная прямая, отвечающая второй гипотезе, далеко уходит от опытных точек.

При испытании на чистое осевое сжатие разрушающее напряжение оказалось равным 87,5 кГ/см² вместо 17,0, которое должно было бы получиться по второй гипотезе. Можно полагать, что при этом наступает уже разрушение от среза (вид излома не удалось освидетельствовать, так как стекло рассыпалось на мелкие осколки). К сожалению, недостаточная мощность установки не позволила обследовать переходный участок от $\sigma_1/\sigma_2 = -7$ до $\sigma_1/\sigma_2 = -\infty$.

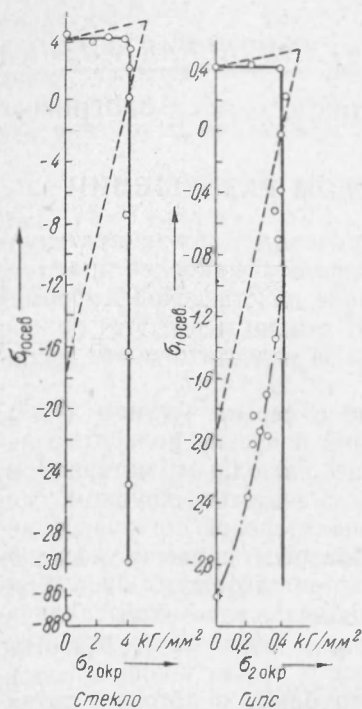


Рис. 1.

Для гипса (также по 10—12 опытов на точку) картина несколько меняется: до $\sigma_1/\sigma_2 = -3,5$ попрежнему сохраняется правильность первой гипотезы, при дальнейшем же увеличении σ_1/σ_2 (по абсолютной величине) разрушение начинает происходить при все уменьшающемся σ_2 , так что при $\sigma_1 = 3$ кГ/мм² оказалось достаточно одного осевого сжимающего напряжения; при этом характер трещин излома приблизился к срезу. Полученная точка лежит много ниже той, которая соответствовала бы второй гипотезе (—1,85 кГ/мм²), так что последняя и для гипса совершенно отпадает.

Заметим здесь, что переходный участок от разрыва к срезу очень напоминает по своей форме диаграмму, полученную для чугуна ⁽²⁾. Природа его пока окончательно не выяснена. Проще всего предположить, что мы имеем здесь переход от отрыва к срезу, причем сопротивление срезу не остается постоянным, а уменьшается по мере увеличения растягивающего напряжения ⁽³⁾.

До сих пор мы пренебрегали радиальным напряжением, действующим на внутренней поверхности трубчатого образца. Если ввести его в расчеты и рассматривать напряженное состояние не как плоское, а как объемное, результаты несколько изменятся в сторону второй гипотезы; однако при этом изменение разницы по двум теориям составит не более 6% для стекла и 15% для гипса, что ни в коей степени не отразится на решающем выводе в пользу первой гипотезы. Достоверность этого вывода для стекла была подтверждена специальными подсчетами по правилам статистики ⁽⁴⁾ и оказалась во всех точках близкой к единице или равной ей.

Особенное практическое значение имела бы проверка гипотезы для случая хрупкого разрушения стали вследствие ее хладноломкости. Однако постановка аналогичного опыта с трубами при низких температурах была бы сопряжена с большими техническими трудностями, а по-

Таблица 1

Сталь	Постоянная Пуассона	Разрывающее напряжение, кГ/мм ²		
		одноосн. напряж. состояние	двуосн. напряж. состояние	по второй гипотезе (расчет)
Фосфористая (0,83% P)	0,28	47,4	46,2	55,2
Кремнистая (3,9% Si)	0,28	85,0*	84,6	98,6

* По недостатку материала в данной серии опытов были применены вместо труб кольца, разорванные по методу А. Н. Митинского ⁽⁵⁾.

тому мы обратились к фосфористой и кремнистой стали такого состава, который обеспечивал бы хрупкое разрушение при комнатной температуре.

Для опыта взяты были трубы, имевшие внутренний диаметр 10 мм и толщину стенок 0,5 и 1,0 мм. Была построена специальная установка, позволявшая разрывать трубы внутренним давлением двумя способами: при наглухо закрытых концах ($\sigma_2 = 2\sigma_1$) и при концах, закрытых поршнями, связанными стяжкой ($\sigma_1 = 0$). Этим способом можно было получить две точки диаграммы, причем в обоих случаях разрыв происходил по образующей. Постоянная Пуассона определялась попрежнему при помощи тензометров.

Результаты (средние из 6—7 опытов) приведены в табл. 1. Как видно, для обеих разновидностей стали опять подтверждается (в первом квадранте) первая, а не вторая гипотеза прочности. Поправка на радиальном напряжении и здесь не меняет вывода; равным образом, статистическая проверка подтверждает достаточную степень его достоверности.

Такое же отсутствие влияния на прочность второго главного напряжения было констатировано в опытах по излому в жидком азоте дисков (плоское напряженное состояние) и узких пластин (одноосное напряженное состояние), как это видно из табл. 2.

Таким образом показано, что для случая двухосного нагружения (при одном растягивающем главном напряжении) на материалах стекло, гипс и частично сталь хрупкое разрушение с достаточной достоверностью подчиняется первой гипотезе прочности (наибольших нормальных напряжений) в отличие от второй (наибольших удлинений).

Ленинградский физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступило
24 V 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. Grassi, J. Cornet, J. Appl. Mech., 16, № 2, 178 (1949). ² L. Coffin, ibid., 17, No. 3, 233 (1950). ³ Н. Давиденков, Вопросы машиноведения. Сборн. статей, посвящ. шестидесятилетию акад. Е. А. Чудакова, 1950, стр. 467. ⁴ А. Митропольский, Техника статистического исчисления, 1931. ⁵ А. Минтинский, Ю. Иванов, Зав. лаб., 13, № 4, 475 (1947).

Таблица 2

Сталь	Ломашее напряжение при -196° , кг/мм ²	
	диск	пластина
Форфористая .	33,4	32,0
Кремнистая .	51,5	50,3