

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Г. М. БАРТЕНЕВ

**О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ПРОЧНОСТИ РЕЗИНЫ
НА РАЗРЫВ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 27 X 1951)

128

1. Основные исследования прочности резины производились на кристаллизующихся резинах (1-4). В этих работах была установлена прямая связь между прочностью на разрыв и количеством кристаллической фазы, возникающей при растяжении. Механизм упрочнения резины при наличии кристаллизации рассмотрен А. П. Александровым и Ю. С. Лазуркиным (5). Исследования, посвященные, главным образом, разработке методов испытания прочности, производились на производственных резиновых смесях, содержащих в том или ином количестве различные наполнители, без строгого разграничения на кристаллизующиеся и некристаллизующиеся резины. Для выяснения принципиальных закономерностей прочности резины необходимо провести всестороннее исследование аморфной (некристаллизующейся) ненаполненной резины.

Явление разрыва, как показывают испытания, имеет статистический характер, подобно разрыву хрупких материалов. В ряде работ (6-8) имеются указания на то, что прочность резины зависит от скорости деформации, толщины и других геометрических размеров образца. Поэтому стандартами (9) испытания на разрыв предусматриваются фиксированная скорость деформации и заданные размеры образцов.

Дори (8), исследуя прочность кристаллизующейся резины в зависимости от скорости деформации на разрывной машине Шоппера в пределах от 150 до 1500% в минуту, пришел к выводу, что для испытания на разрыв практически не существенен выбор той или иной скорости растяжения в указанных пределах. Однако работы Дори и других исследователей не отвечают на более важный вопрос: в какой степени значения прочности, полученные при стандартных испытаниях, соответствуют прочности реальных изделий в условиях эксплуатации. Последнее не предусматривается также в существующих стандартных методах испытания, которые поэтому должны рассматриваться только как чисто сравнительные испытания резин.

Основная цель настоящей работы — показать, на основе экспериментальных зависимостей прочности аморфной резины от различных факторов, насколько важно установление соответствия между результатами стандартных испытаний резины и прочностью изделия в условиях эксплуатации.

2. Для исследования была взята одна из стандартных резин из бутадиевстирольного каучука в оптимуме вулканизации по прочности*. Испытания на разрыв производились при средних скоростях

* Состав резины: каучук Буна S — 100, сера — 3, окись цинка — 5, стеариновая кислота — 2, меркаптобензотиазол — 1 вес. часть; вулканизация — 20 мин. при 143° в электропрессе.

на машине Шоппера, а при малых — на динамометре типа Поляни. Образцы изготовлялись из вулканизованных пластин трех толщин путем вырубki штанцевым ножом и имели форму двухсторонней «лопатки». Длина и ширина образцов были близки к стандартным (25 и 7 мм). В остальном испытания производились по ГОСТу.

Хотя в технологии резины обычно принято рассчитывать только условную прочность как разрывную нагрузку, отнесенную к начальному

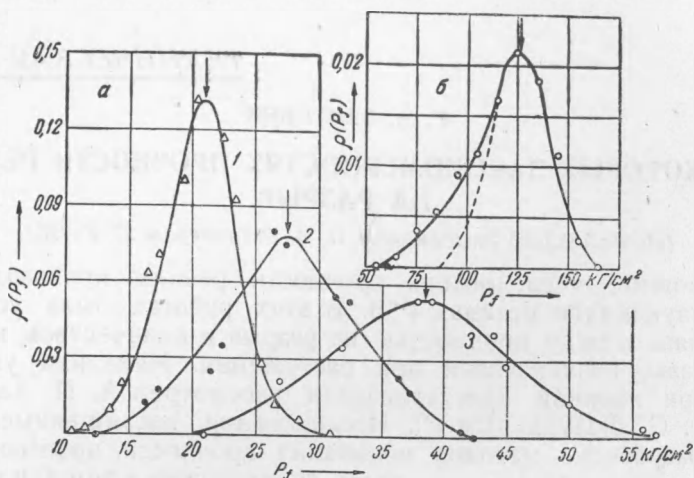


Рис. 1. Кривые распределения прочности, рассчитанной на начальное сечение для бутадиенстирольной резины: а — ненаполненной, трех толщин: 1—2,2; 2—1,2; 3—0,4 мм; б — наполненной, толщиной 1 мм. Пунктирная кривая отсекает несимметричную часть кривой

сечению образца, мы, как правило, рассчитывали также и истинную прочность по формуле

$$P_{\sigma} = \lambda_{\text{разр}} \cdot P_f, \quad (1)$$

где P_{σ} — истинная, P_f — условная прочность, $\lambda_{\text{разр}}$ — относительная разрывная длина. Функция распределения прочности ρ рассчитывалась

$$\rho(P) = \frac{1}{N} \left(\frac{\Delta N}{\Delta P} \right), \quad (2)$$

где N — число образцов данной серии (не менее ста), ΔN — число образцов с прочностью в интервале от P до $P + \Delta P$.

На рис. 1, а приведены кривые распределения ненаполненной резины трех толщин. Соответствующие кривые распределения для истинной прочности имеют аналогичный симметричный характер. Из рис. 1, а видно, что кривая распределения с увеличением толщины образцов смещается в сторону малых прочностей; при этом разброс прочности уменьшается. Однако, как видно из рис. 2, относительный разброс прочности практически не зависит от толщины образцов. Кривая на рис. 2 является гауссовской кривой. Следовательно, для ненаполненной аморфной резины: 1) наиболее вероятная прочность может быть рассчитана как средняя (арифметическая); 2) средняя прочность зависит от толщины образцов, тогда как относительный разброс прочности при этом мало меняется — коэффициенты вариации для толщины 2,2; 1,2 и 0,4 мм соответственно равны ± 13 , ± 15 и $\pm 19\%$ (некоторое увеличение объясняется, повидимому, возрастанием ошибок измерений прочности с уменьшением толщины). В противоположность этому кривые распределения наполненной резины (рис. 1, б), отличающейся

от предыдущей только добавкой сажи и оптимальным временем вулканизации*, имеют явно несимметричный вид. Все другие исследователи, за исключением Флори с сотрудниками⁽³⁾, работая с наполненными резинами, получали на кривых распределения в области малых прочностей более или менее ясно выраженный «хвост», аналогичный показанному на рис. 1, б. Наличие такого относительно большого числа низких значений прочности объясняется, как известно, присутствием в технической резине различного рода неоднородностей, включений или других дефектов, действующих, как правило, в сторону понижения прочности образца.

Из сопоставления различных экспериментальных данных следует: 1) вырубка штанцевым ножом не вносит заметных искажений в симметричный вид кривых распределения; 2) кристаллизация при растяжении не искажает симметрии кривой распределения (по Флори); 3) наличие искажения в кривой распределения прочности следует целиком отнести за счет наполнителей в резине; 4) может быть предложен метод оценки качества смешения наполнителя с каучуком по размеру «хвоста» на кривой распределения прочности.

Дальнейшие исследования проводились только с ненаполненной резиной. Для определения средней прочности достаточно разорвать 12 образцов. Ошибки при этом составляют как для условной прочности (на начальное сечение), так и для истинной прочности (на разрывное сечение) величину порядка $\pm 5\%$.

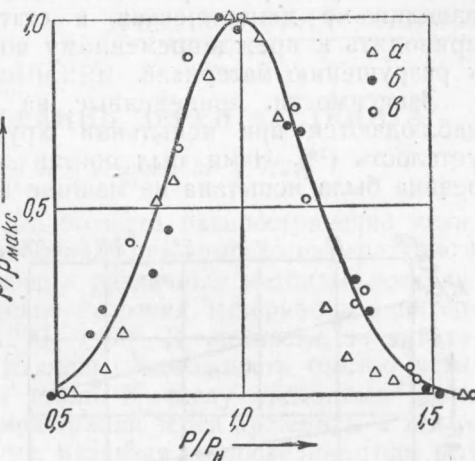


Рис. 2. Данные рис. 1, а, изображенные в относительных координатах; P_n — наивероятная прочность; P_{\max} — максимальное значение функции распределения. а — 2,2 мм; б — 1,2 мм; в — 0,4 мм

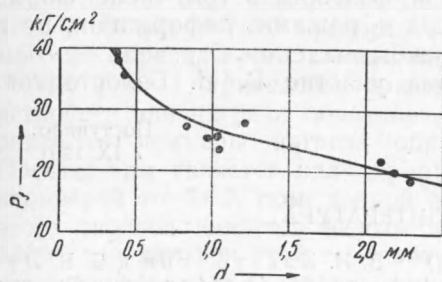


Рис. 3. Зависимость прочности, рассчитанной на начальное сечение, от толщины образцов

3. Зависимость средней условной прочности от толщины образцов приведена на рис. 3, из которого видно, что прочность возрастает с уменьшением толщины тем сильнее, чем меньше толщина образцов. Примерно такой же ход кривой наблюдается для истинной прочности. Эти результаты показывают со всей очевидностью, что к данным испытаний необходимо подходить критически. Как показала проверка, на указанный характер зависимости прочности от толщины вырубка штанцевым ножом не влияет.

4. Зависимость прочности от скорости деформации $v = d\varepsilon/dt$ приведена на рис. 4, где в координатах $\lg P - \lg v$ экспериментальные данные хорошо укладываются на прямую, тогда как в координатах $P - \lg v$ зависимость принимает явно нелинейный вид. Приведенный график харак-

* 30 вес. частей сажи на 100 вес. частей каучука при вулканизации в оптимуме по прочности.

теризует динамическую усталость резины при режиме постоянных скоростей растяжения. При уменьшении скорости растяжения на порядок величины условная и истинная прочности падают, соответственно, на 20 и 30%.

Известно, что обычные испытания на динамическую усталость резины производятся при режиме многократных деформаций. И хотя последние испытания важны, но они не являются единственной характеристикой усталости резины в эксплуатации. В ряде случаев работы изделий не динамическая, а статическая усталость резины может приводить к преждевременному появлению трещин и, следовательно, к разрушению материала.

Зависимости, приведенные на рис. 4, сходны с теми, которые наблюдаются при испытании хрупких материалов на статическую усталость⁽¹⁰⁾. Нами был поставлен следующий опыт. Одна и та же резина была испытана на машине Шоппера при стандартных условиях

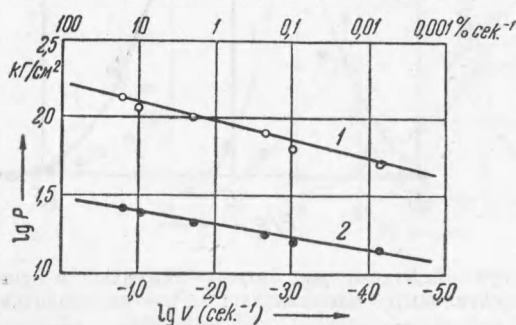


Рис. 4. Зависимость прочности от скорости деформации. 1— истинная прочность, 2— условная прочность

и на динамометре при статическом нагружении в течение 2 час. В первом случае условная прочность оказалась равной 26 кг/см², а во втором около 8 кг/см² *. Следовательно, прочность статически нагруженной резины резко снижается по сравнению с данными стандартных испытаний. Поэтому необходимо наряду с существующими стандартными испытаниями проводить также испытания на статическую усталость резины.

В заключение отметим, что реальные изделия имеют самые разнообразные размеры и форму и подвергаются в эксплуатации различным видам и режимам деформации. В настоящей статье в качестве примера рассмотрены только некоторые из этих факторов, а именно, размеры образца и режим растяжения. Однако несомненно, что другие факторы, в том числе форма образца, граничные условия, иные виды и режимы деформации, не в меньшей степени влияют на срок службы изделия.

В отдельных измерениях принимала участие Г. И. Белостоцкая.

Научно-исследовательский институт
резиновой промышленности

Поступило
7 IX 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G. Gee, Journ. Polymer Sci., 2, 451 (1947). ² В. И. Касаточкин и Б. В. Лукин, ЖТФ, 19, 76 (1949). ³ P. Flory, N. Rabjohn and M. Shaffer, Journ. Polymer Sci., 4, 435 (1949). ⁴ P. Flory, Ind. Eng. Chem., 38, 417 (1946). ⁵ А. П. Александров и Ю. С. Лазуркин, ДАН, 45, 308 (1944). ⁶ W. Reese, IRI Trans., 11, 312 (1935). ⁷ O. Davies and S. Horrobin, Rubb. Ch. Techn., 10, 180 (1937). ⁸ R. Dorey, IRI Trans., 7, 158 (1931). ⁹ ГОСТ 270-41. ¹⁰ Г. М. Бартев, ДАН, 71, 23 (1950).

* Что соответствует испытанию на машине Шоппера при скорости растяжения 0,0001% за секунду.