



СЕРАФИМ НИКОЛАЕВИЧ  
ЖУРКОВ

PERSONALIA

53(092)

**СЕРАФИМ НИКОЛАЕВИЧ ЖУРКОВ**

(К семидесятилетию со дня рождения)

29 мая 1975 г. исполнилось семьдесят лет со дня рождения академика Серафима Николаевича Журкова, заведующего лабораторией физики прочности Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР.

С. Н. Журков свою научную деятельность посвятил главным образом одной крупной проблеме — выяснению физической природы прочности. В разработке этой проблемы, имеющей тысячелетнюю историю, С. Н. Журкову удалось добиться радикальных сдвигов, определивших возможности дальнейшего успешного развития науки о прочности.

Можно назвать два основных вопроса, на которых С. Н. Журков сосредоточил внимание в своих работах по физике прочности в течение более чем 40 лет: 1) экспериментальное достижение теоретической прочности материалов, 2) выяснение атомно-молекулярного механизма разрушения твердых тел.

С. Н. Журков начал свою научную деятельность в Ленинградском Физико-техническом институте в 1930 г. (после окончания физико-математического факультета Воронежского государственного университета). К этому времени были уже вычислены теоретические значения прочности твердых тел (на основе данных о силах межатомного сцепления и для идеальной, бездефектной структуры — М. Борн, Ф. Цвикки и др.). Возникал вопрос, достижима ли вообще на практике названная теорией огромная предельная прочность. Каковы причины расхождения (в десятки — сотни раз) теоретической и обычной, получаемой в экспериментах прочности.

Классические работы А. Ф. Иоффе на каменной соли, проведенные в 20-х годах, показали, что путем удаления дефектов с поверхности образцов можно во много раз поднять их прочность. С. Н. Журков совместно с А. П. Александровым продолжил эти работы на стеклянных и кварцевых нитях. Они протравливали поверхность нитей в плавиковой кислоте, удалявшей поверхностные трещины. В этих условиях были достигнуты небывалые до того значения разрывной прочности: до  $1300 \text{ кг/мм}^2$  для кварца и  $600 \text{ кг/мм}^2$  для стекла. Это были значения, сравнимые с теоретической прочностью исследованных материалов.

Результатами другой серии опытов С. Н. Журков обосновал справедливость предположения о том, что именно локальные дефекты являются причиной низкой практической прочности. Он выявил зависимость прочности нитей от их диаметра: с уменьшением диаметра прочность нарастала.

Эти данные легли в основу последующих статистических теорий прочности, в которых прочность тела связывалась с вероятностью наличия опасных дефектов как в объеме, так и особенно на поверхности тела. Эта вероятность, естественно, падала с уменьшением объема. Путь миниатюризации образцов, кроме того, являлся еще одним способом продвижения к теоретической прочности.

Таким образом, уже в своих первых исследованиях по физике прочности С. Н. Журков решил фундаментальный вопрос — доказал реальную возможность достижения теоретической прочности. Данное обстоятельство является чрезвычайно важным, поскольку подтверждение наличия огромных ресурсов прочности в телах послужило стимулом для развития исследований, направленных на отыскание путей повышения технической прочности материалов.

В середине 30-х годов началось быстрое развитие производства синтетических полимеров, механические свойства которых обладают важными и специфическими особенностями. Группа ученых ФТИ во главе с П. П. Кобеко и А. П. Александровым, куда входил и С. Н. Журков, обратилась к изучению этих интереснейших объектов.

С. Н. Журков приступает к изучению роли межмолекулярных взаимодействий в явлении отвердевания (или размягчения) полимеров. Он исследует влияние пластификации (введение в полимер низкомолекулярных соединений) на твердость полимеров,

на температуру их размягчения. Великая Отечественная война прервала «академический» ход этих исследований. В Казани С. Н. Журков успешно применяет обнаруженные им закономерности действия пластификаторов для решения важных оборонных задач: повышения морозоустойчивости смазочных масел и окислительной пластификации синтетических каучуков.

В конце войны и по возвращении в Ленинград С. Н. Журков завершает исследования по отвердеванию и расстекловыванию полимеров, результаты которых обобщены в его докторской диссертации «Исследование механизма перехода полимеров из твердого в каучукоподобное состояние» (1947 г.).

На основании результатов своих исследований С. Н. Журков развил теорию отвердевания полимеров как процесса образования локальных «мостиков» — связей, скрепляющих в отдельных местах полимерные цепочки друг с другом. Образование подобных узлов происходит на радикалах — боковых привесках цепных молекул. Влияние пластификатора сказывается в «экранировке» активных радикалов.

Для количественного определения числа «мостиков» С. Н. Журков обратился к измерению температурной зависимости теплоемкости, разработав новую, весьма остроумную малоинерционную методику измерения теплоемкости.

Наряду с этим С. Н. Журков искал способы более прямого подтверждения сформулированного им механизма отвердевания. Ему удалось непосредственно оценить соотношения между свободными и связанными друг с другом радикалами методом инфракрасной спектроскопии. Изучение спектров поглощения полимеров с водородной связью при разных температурах показало, что число связанных и свободных гидроксильных групп резко изменяется в интервале размягчения. Эти опыты полностью подтвердили предложенный С. Н. Журковым молекулярный механизм стеклования полимеров.

Успешно решив фундаментальный вопрос физики полимеров — выяснение механизма их отвердевания (или размягчения), С. Н. Журков возвращается к наиболее интересующей его проблеме — выяснению физической природы прочности твердых тел.

С конца 40-х годов начинается новый период в работе С. Н. Журкова — период изучения атомно-молекулярного механизма разрушения твердых тел. До этого времени считались общепризнанными представления о разрушении как о чисто механическом процессе. Принималось, что внешняя растягивающая нагрузка распределяется по межатомным связям и раздвигает атомы. Если внешнее усилие достаточно велико, то происходит рассоединение атомов, что и ведет к разрушению тела. При таком рассмотрении вопрос о прочности тела было вполне естественным решать на основе сопоставления сил, нагружающих связи, и сил межатомного сцепления. С этими представлениями хорошо согласовывалось понятие о «пределе прочности» — том критическом внешнем напряжении, превышение которого вызывает резкую потерю устойчивости тела в смысле его сопротивления разрушению.

С. Н. Журков начал с того, что усомнился в существовании предела прочности как реальной физической характеристики материалов. К такому сомнению его толкали данные о том, что тела могут разрушаться и при меньших, чем предел прочности, нагрузках. При этом, правда, разрушение происходит не сразу, а за некоторое время, тем большее, чем меньше приложенная нагрузка. Данные такого рода в то время были сравнительно редкими, разрозненными и несистематическими. Подобным наблюдениям не придавалось серьезного физического значения и считалось, что имеет место побочное влияние различных факторов (типа коррозии, старения и т. п.), снижающих со временем предел прочности. С. Н. Журков же увидел здесь возможность проявления общей физической особенности разрушения тел.

Прежде всего С. Н. Журков поставил систематические, тщательные измерения долговечности тел под растягивающей нагрузкой, т. е. времени между моментом нагружения тела и разрывом тела. Разработанные в лаборатории С. Н. Журкова установки позволили вести эти измерения в огромном интервале значений долговечности (10 порядков — от тысячных долей секунды до многих месяцев). От опыта к опыту широко варьировались растягивающие напряжения и температура. Значительная часть опытов была поставлена в высоком вакууме. Было обследовано более сотни веществ из всех основных типов твердых тел: металлы, сплавы, стекла, полимеры, кристаллы с различными межатомными связями, композиционные и гетерогенные материалы. Оказалось, что свойство разрушаться при любых нагрузках является общим для всех исследованных материалов. Более того, удивительно единообразной оказалась и функциональная зависимость долговечности ( $\tau$ ) от внешних условий разрушения тел — напряжения тел — напряжения ( $\sigma$ ) и температуры ( $T$ ). Аналитическая обработка огромного экспериментального материала привела С. Н. Журкова к универсальной формуле для температурно-силовой зависимости долговечности (исключая область самых малых напряжений):

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{U(\sigma)}{kT}\right),$$

где  $U(\sigma) = U_0 - \gamma\sigma$ ;  $k$  — постоянная Больцмана;  $\tau_0$  имеет одинаковое (по порядку величины) значение ( $\sim 10^{-13}$  сек) для любых твердых тел в любом их состоянии;  $U_0$

имеет постоянное значение для данного вещества независимо от его структурного состояния и обработки, но меняется от вещества к веществу;  $\gamma$  зависит от предварительной обработки данного вещества и меняется в широких пределах с изменением структуры материала.

Прежде всего С. Н. Журков обратил внимание на то обстоятельство, что долговечность тела одинаковым образом определяется как приложенной механической силой (растягивающее напряжение  $\sigma$ ), так и температурой тела. Обе эти величины входят в показатель экспоненты. Это позволило сделать важнейший по своему физическому смыслу вывод о том, что тепловое движение (мерой интенсивности которого и является температура  $T$ ) играет существенную роль в ходе разрушения тела.

Вид функциональной зависимости долговечности от температуры дал возможность С. Н. Журкову установить, в какой форме тепловое движение влияет на ход разрушения тел. Действительно, пропорциональность  $\tau$  «больцмановскому» множителю  $\exp(U/kT)$  указывает на то, что тепловое движение участвует в разрушении в форме тепловых флуктуаций — резких «вспышек» кинетической энергии, возникающих время от времени на атомах тела. Это особенно подчеркивается удивительным сходством выражения для  $\tau(T)$  и известного выражения И. И. Френкеля для среднего времени  $\tau_{\text{фл}}$  между двумя последовательными флуктуациями, придающими данному атому кинетическую энергию  $E_{\text{фл}}$ :  $\tau_{\text{фл}} = \tau_a \exp(E_{\text{фл}}/kT)$ , где  $\tau_a \approx 10^{-13}$  сек — средний период тепловых колебаний атомов в конденсированных телах. Видно, что  $\tau_0 \approx \tau_a$ . Следовательно, именно энергия тепловых флуктуаций, а не энергия средних тепловых колебаний позволяет атомам преодолевать барьеры межатомного сцепления. Величина  $U(\sigma)$  в соответствии с этим имеет смысл энергии активации процесса разрушения, причем из найденной формулы следовало, что эта энергия зависит от приложенного напряжения, снижаясь с ростом  $\sigma$ . Величина  $U_0$  (начальная энергия активации) определяется из опытов по измерению долговечности. Сравнение значений  $U_0$  (полученных в работах С. Н. Журкова и его сотрудников) с энергиями активации теплового распада межатомных связей (энергией сублимации в металлах, кристаллах и энергией термодеструкции в полимерах) выявило хорошее совпадение этих величин. Такое совпадение окончательно утверждает вывод о том, что энергия тепловых флуктуаций тратится на рассоединение атомов в нагруженных твердых телах, что и составляет сущность процесса разрушения. В чем же тогда роль внешней механической силы? В свете новой, кинетической, концепции разрушения приложенное к телу растягивающее напряжение, во-первых, уменьшает энергию распада связи и этим резко увеличивает вероятность ее флуктуационного разрыва и, во-вторых, что особенно важно, резко ослабляет возможность рекомбинации, удаляя друг от друга разведенные атомы. Можно сказать, что внешняя сила играет роль вентили, направляя разрушающее действие тепловых флуктуаций. Важно подчеркнуть при этом, что механическая сила, действующая непосредственно в местах, где распадаются межатомные связи, оказывается во много раз больше, чем следует из значений средних напряжений ( $\sigma$ ). Об этом свидетельствует то обстоятельство, что величина  $\gamma$  в уравнении долговечности в десятки — сотни раз больше величины объема атома (примерной величины активационного объема распада межатомных связей). Такие перенапряжения возникают из-за гетерогенности строения реальных тел, порождающей неравномерное распределение внешней нагрузки по межатомным связям. Естественно, что именно в этих местах наиболее активно и идут процессы термофлуктуационного разрыва связей. Здесь формируются очаги разрушения, развитие которых и заканчивается распадом тела на части.

Таким образом, согласно теории, развитой С. Н. Журковым, процесс разрушения — это атомно-кинетический процесс. И тогда прочность тела как мера его устойчивости к внешнему силовому воздействию определяется не только силами межатомного сцепления, но и интенсивностью теплового движения. Отсюда! и возникло представление о кинетической природе прочности твердых тел. Введение этих новых представлений следует признать крупнейшим вкладом в развитие физики прочности.

Подход к рассмотрению разрушения как кинетического процесса, состоящего из последовательности элементарных актов распада межатомных связей, побудил С. Н. Журкова ввести чрезвычайно прогрессивные изменения в сам характер экспериментальных исследований разрушения. Для подтверждения кинетических представлений и детального прослеживания хода процесса разрушения Серафим Николаевич в своей лаборатории впервые применил для решения «механических» проблем большой комплекс физических и физико-химических методов. Используются «непривычные» в исследованиях по прочности методы, такие, как инфракрасная спектроскопия, электронный парамагнитный резонанс, масс-спектрометрия, ядерный магнитный резонанс, хроматография, дифракция света и рентгеновских лучей в малых углах, электронная микроскопия и т. п. С помощью этого комплекса С. Н. Журкову вместе с его сотрудниками удалось получить уникальные данные об истинных локальных напряжениях, на межатомных связях, о разрыве этих связей, об инициируемых такими

разрывами вторичных молекулярно-деструкционных процессах, о возникновении зародышевых разрывов сплошности — мельчайших зародышевых трещин, о кинетике постепенного увеличения этих трещин и т. д. Привлечение современных тонких методов позволило поднять уровень экспериментального изучения разрушения на новую ступень, сделать это изучение подлинно физическим. Такой подход открывает широкие перспективы для развития прочностных исследований вглубь, для построения количественной и детализированной теории прочности.

Труды С. Н. Журкова получили широкое признание в СССР и во всем мире. Они оказывают большое влияние на развитие исследований по физике прочности, ведущихся во многих странах.

Выражением этого явилось избрание С. Н. Журкова вице-президентом Международного конгресса по разрушению.

Серафим Николаевич Журков — большой ученый, коммунист, встречает свой юбилей новыми смелыми поисками, новыми глубокими исследованиями, направленными на решение важнейшей проблемы создания сверхпрочных материалов будущего.

*В. М. Тучкович*