СЕРАФИМ НИКОЛАЕВИЧ
ЖУРКОВ

1965 г. Октябрь *Том 87, вып. 2*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

PERSONALIA

92:53

СЕРАФИМ НИКОЛАЕВИЧ ЖУРКОВ

(К шестидесятилетию со дня рождения)

29 мая 1965 г. исполнилось шестьдесят лет со дня рождения члена-корреспондента АН СССР, заведующего лабораторией физики прочности Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР Серафима Николаевича Журкова.

С. Н. Журков принадлежит к категории ученых, которые всю свою научную жизнь посвящают одной крупной проблеме. Такой проблемой для С. Н. Журкова явилась физическая природа механических свойств твердых тел и прежде всего — их прочности. В этом вопросе, имеющем, пожалуй, тысячелетнюю историю, до последних десятилетий не было существенного прогресса. Требовался именно физический подход к изучению механических свойств реальных твердых тел, к изучению тех изменений, которые происходят в телах при приложении к ним нагрузки.

С. Н. Журков начал свою научную деятельность в Физико-техническом институте в 1930 г. (после окончания физико-математического факультета Воронежского государственного университета), в переломный период развития науки о прочности. К этому времени уже были вычислены теоретические прочности твердых тел (на основе данных атомно-молекулярной теории строения и идеальной, бездефектной структуры) и стал очевиден разрыв между заложенными природой в твердые тела механическими возможностями и их реальными свойствами. Встал вопрос о выяснении причин такого сильного (до стократного) расхождения и возможности приближения реальной прочности к теоретической. Вслед за А. Ф. Иоффе С. Н. Журков совместно с А. П. Александровым показал, что соответствующей обработкой твердых тел (убиранием дефектов с их поверхности) можно приблизиться к теоретической прочности. Результаты опытов, проведенных С. Н. Журковым на кварцевых и стеклянных нитях, когда были достигнуты прочности в 1300 $кГ/мм^2$ (для кварца) и 600 $кГ/мм^2$ (для стекла), вошли как классический вклад в развитие учения о механических свойствах твердых тел.

Таким образом, уже в первой своей крупной научной работе С. Н. Журков решил фундаментальный вопрос — доказал возможность достижения теоретической прочности. Данное обстоятельство является чрезвычайно важным, так как служит стимулом для развития исследований, направленных на отыскание путей повышения технической прочности материалов.

В середине тридцатых годов произошло важное событие: в достаточно больших количествах появились синтетические полимеры, среди свойств которых большой научный и практический интерес представляют механические свойства. Сильная группа ученых ФТИ (П. П. Кобеко, А. П. Александров, Е. В. Кувшинский, Ю. С. Лазуркин и др.) обратилась к изучению этих интереснейших объектов. В эту группу входил и С. Н. Журков. В этот период в ФТИ были заложены основы науки о физико-механических и релаксационных свойствах полимеров.

Необычные для твердых тел свойства полимеров: огромные обратимые деформации, сильная температурная зависимость упругих свойств, постепенный переход от твердого к жидкоподобному состоянию — все это побуждало к постановке глубоких, систематических исследований.

С. Н. Журков приступает к изучению роли межмолекулярных взаимодействий в определении механических свойств полимеров. Он ставит задачу выяснения молекулярного механизма «размягчения» полимеров при повышении температуры. Изучая влияние пластификации (введение в полимер низкомолекулярных соединений) на температуру размягчения полимеров, С. Н. Журков устанавливает важный закон эквивалентности: одинаковое смещение температурного интервала размягчения при введении в полимер эквимолекулярных количеств различных веществ. Анализ такой закономерности привел С. Н. Журкова к представлению об отвердевании полимеров

как процессе образования сравнительно прочных связей между активными группами в боковых привесках полимерных цепей, скрепляющих в отдельных местах эти цепочки друг с другом. Влияние пластификатора заключается в «экранировке» этих активных групп.

Во время Великой Отечественной войны С. Н. Журков в Казани успешно применяет обнаруженные им закономерности действия пластификаторов для решения серьезных оборонных задач: повышения морозоустойчивости смазочных масел и улучшения эксплуатационных свойств резин на основе синтетических каучуков.

После войны, продолжая развитие исследований по размягчению полимеров, С. Н. Журков проводит исключительно изящные опыты по измерению температурной зависимости теплоемкости в области размягчения полимеров. На основе этих калориметрических исследований была оценена концентрация «узлов» в отвердевшем полимере.

Однако С. Н. Журков не удовлетворился всеми этими данными. Он искал способа прямого подтверждения сформулированного им механизма отвердевания. Здесь сказалась характерная для С. Н. Журкова черта — не ограничиваться одними лишь феноменологическими исследованиями, а доказывать реальность того или иного молекулярного процесса соответствующими микроскопическими опытами.

Прямым доказательством развитой С. Н. Журковым теории отвердевания явилось непосредственное измерение соотношения между свободными и связанными друг с другом радикалами при разных температурах, которое проводилось им методом инфракрасной спектроскопии. Изучение спектров поглощения различных полимеров с водородной связью показало, что число связанных и свободных гидроксилов резко изменяется в интервале размягчения. Эти опыты полностью подтвердили предложенный С. Н. Журковым молекулярный механизм застеклования простых и полимерных веществ.

Подводя итоги второму большому периоду научной деятельности С. Н. Журкова, следует отметить, что он был посвящен фундаментальному вопросу физики полимеров — молекулярному механизму их отвердевания (или размягчения) и увенчался ныне общепризнанной теорией. Важным для дальнейшего творческого пути С. Н. Журкова явилось то обстоятельство, что изменение механических свойств полимеров и простых аморфных тел связывалось им здесь с молекулярными процессами, носящими кинетический, активационный характер, т. е. механические свойства твердых тел и здесь уже были тесно связаны с тепловым движением молекул. Данное, глубоко физичное, направление было характерно для всей школы А. Ф. Иоффе и его учеников: П. П. Кобеко, А. П. Александрова и др.

С конца сороковых годов начинается новый, самый важный период в работе С. Н. Журкова — период изучения механизма разрушения твердых тел.

С. Н. Журков обратил внимание на отдельные, разрозненные и несистематические, данные о том, что тело может разрушаться и при меньших, чем предел прочности, нагрузках, но зато — не сразу, а за время тем большее, чем меньше нагрузка. До С. Н. Журкова таким наблюдениям не придавалось особого физического значения и считалось, что здесь имеет место побочное влияние различных факторов (коррозия, старение и т. п.), снижающих со временем предел прочности. С. Н. Журков же предположил, что наличие временно́й зависимости прочности означает глубокую физическую связь разрушения со временем, составляет саму сущность разрушения. Опыты на большом числе твердых тел (металлы, полимеры, стекла, ионные соединения — всего свыше 50 веществ) показали, что всем твердым телам присуща временна́я зависимость прочности. Аналитическая обработка большого экспериментального материала привела С. Н. Журкова к универсальной формуле для временно́й зависимости прочности

$$\tau=\tau_0 \exp\left[(u_0-\gamma\sigma)/kT\right],$$

где τ — время «жизни» образца (от момента нагружения до разрыва), δ — приложенное напряжение, T — абсолютная температура, k — постоянная Больцмана, τ_0, u_0, γ — коэффициенты, причем τ_0 постоянно для всех изученных твердых тел в любом их состоянии, u_0 — постоянно для данного вещества независимо от его структурного состояния или обработки; γ и для данного вещества меняется при обработке (предварительное термическое, механическое воздействие, легирование, пластификация и т. п.).

Проведенная С. Н. Журковым идентификация коэффициентов показала, что: τ_0 имеет величину 10^{-13} *сек* и близко к периоду собственных тепловых колебаний атомов в твердых телах; u_0 с большой точностью совпадает с энергиями связи атомов в кристаллической решетке (для металлов) или с энергиями химической связи (для полимеров в цепных молекулах); γ характеризует степень снижения потенциального барьера межатомных связей приложенным напряжением и, будучи, как правило, во много раз больше размера объема атомов, отражает разницу в прочности практиче-

ской по сравнению с теоретической, т. е. является показателем несовершенства строения материала.

Таким образом, полученная формула не является простым эмпирическим выражением, описывающим экспериментальные результаты, а имеет глубокий физический смысл, проливающий свет на механизм разрушения, о чем говорит данный кинетический, «больцмановский» вид этой формулы.

Какие же выводы сделаны С. Н. Журковым относительно разрушения твердых тел?

1. Разрушение твердых тел — это процесс, развивающийся во времени, а не критическое событие, как полагали раньше. Разрушение — это необратимый процесс, начинающийся при приложении нагрузки и завершающийся распадом тела на части.

Необратимость процесса устанавливается опытами с прерыванием действия нагрузки. Суммарно время жизни образца оказывается равным долговечности образца без прерывания опыта.

2. Отрицается физический смысл предела прочности как материальной константы. Появление этого понятия легко объясняется на основе временнóй зависимости прочности, когда при соответственно низких температурах зависимость становится очень резкой, создавая впечатление порогового напряжения.

3. Процесс разрушения состоит в последовательности элементарных актов — разрывов межатомных связей, происходящих термофлуктуационным путем при активирующей роли внешнего напряжения.

4. В реальном теле имеются своеобразные «рычаги», локально резко усиливающие действие внешней силы за счет ее неравномерного распределения по межатомным связям.

Особое внимание следует обратить на пункт 3, где С. Н. Журковым сделан вывод о механизме разрушения. Интерес здесь составляет не представление о том, что разрушение тела заключается в «рассоединении» атомов (так, естественно, считали и раньше), а то, каким образом идет рассоединение, какова роль внешней силы при этом. Согласно С. Н. Журкову, не внешняя сила осуществляет это рассоединение атомов (что казалось само собой разумеющимся ранее), а оно совершается энергетическими флуктуациями за счет теплового движения атомов. Внешняя сила лишь создает условия для «разрушающей» деятельности флуктуаций, снижая барьер и устанавливая направленность процесса разрушения.

Не будь теплового движения, под действием внешней силы атомы лишь слегка бы раздвинулись, но рассоединения их не произошло бы. Основная работа разрушения совершается, таким образом, не внешней силой, а за счет тепловой энергии, сосредоточенной в теле.

Таким образом, на основании феноменологического изучения временнóй зависимости прочности С. Н. Журков пришел к весьма радикальным изменениям представлений о механизме разрушения. Эти выводы С. Н. Журкова знаменуют новую, плодотворную эпоху в науке о прочности и, бесспорно, послужат отправным пунктом для дальнейшего развития этой науки.

Уже отмеченная выше характерная черта С. Н. Журкова не удовлетворяться одними лишь феноменологическими исследованиями привела к развитию в его лаборатории целого комплекса физических методов, направляемых на решение двух вопросов:

1. Прямое доказательство реальности процесса разрушения как последовательности элементарных актов межатомных разрывов и изучение конкретных деталей этих опытов.

2. Установление конкретных структурных условий протекания процесса разрушения, т. е. выяснение тех особенностей строения реальных твердых тел, которые приводят к локальным перенапряжениям и резко ускоряют тем самым протекание разрушения.

Методами электронного парамагнитного резонанса, масс-спектрометрии, инфракрасной спектроскопии и изучения поведения полимеров под действием ультрафиолетового облучения была непосредственно доказана реальность последовательных разрывов межатомных связей тепловыми флуктуациями в нагруженных полимерах.

На основе использования прямых структурных методов (рентгеновская дифракция, инфракрасная спектроскопия, электронная микроскопия, ядерный магнитный резонанс) были установлены места локализации перенапряжений в твердых телах, т. е. очаги разрушения: границы блоков мозаики в металлах — места скопления дислокаций, аморфные, неупорядоченные области в полимерах. Найдены прямые корреляции прочности с характеристиками этих «опасных» участков. Показано, что для металлов прочность (с учетом ее временнóй зависимости) однозначно определяется разориентацией блоков, т. е. плотностью дислокаций в их границах. Для полимеров установлена прямая связь прочности с ориентацией цепных молекул в аморфных участках.

Все эти данные позволили С. Н. Журкову приступить к целенаправленному обоснованному решению важнейшей задачи — повышению прочности твердых тел, где уже достигнуты существенные результаты.

Таким образом, в уникальной по оснащенности физическими методами лаборатории С. Н. Журкова ведутся интенсивные и плодотворные исследования, важной особенностью которых является их целенаправленность и прочный физический фундамент, заложенный изучением временнóй зависимости прочности.

Идеи и результаты работ С. Н. Журкова оказывают большое стимулирующее влияние на постановку и развитие исследований далеко за пределами его лаборатории и непосредственной «прочностной» тематики.

Работы школы С. Н. Журкова широко признаны в Советском Союзе и за рубежом. Многочисленные ученики и последователи С. Н. Журкова продолжают и развивают это исключительно плодотворное и перспективное направление.

16 июля 1965 г. Указом Президиума Верховного Совета СССР за заслуги в области физики и в связи с шестидесятилетием со дня рождения Серафим Николаевич Журков награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Серафим Николаевич Журков, большой ученый, коммунист, находится в расцвете своего научного творчества и несомненно — перед новыми интереснейшими открытиями.

Б. П. Константинов

СПИСОК ОСНОВНЫХ ТРУДОВ С. Н. ЖУРКОВА

1. Приготовление больших сопротивлений порядка 10^9—10^{11} *ом*, Ж. прикл. физ. **1**, 65 (1929) (совместно с Б. А. Пятницким).
2. Наблюдения явлений хемолюминесценции амарина и лофина фотоэлементом, Журн. Русск. физ.-хим. о-ва, 631 (1930) (совместно с А. П. Поспеловым и Б. А. Пятницким).
3. Явление хрупкого разрыва, М., ОНТИ — Гостехиздат, 1933 (совместно с А. П. Александровым).
4. Эффект повышения прочности тонких нитей, ЖТФ **4**(9), 1640 (1934).
5. Явление разрыва водомерных стекол и пути повышения их прочности, ЖТФ **7**(10), 1111 (1937) (совместно с А. П. Александровым и И. П. Янушевским).
6. Влияние объемной сорбции паров на температуру отвердевания полимеров, ДАН СССР **17**(2), 109 (1945) (совместно с Р. И. Лерманом).
7. Молекулярный механизм отвердевания полимеров, ДАН СССР **17** (7) 493 (1944).
8. Влияние объемной сорбции на механические свойства полимеров, ДАН СССР **19**(3), 201 (1945).
9. Инфракрасные спектры полимеров в интервале отвердевания, ДАН СССР **21** (1), 89 (1949) (совместно с Б. Я. Левиным).
10. Инфракрасные спектры поглощения органических стекол в интервале застеклования, ДАН СССР **22**(2), 269 (1950) (совместно с Б. Я. Левиным).
11. Применение молекулярной спектроскопии для изучения механизма застеклования, Вестн. Ленингр. ун-та, № 3, 45 (1950) (совместно с Б. Я. Левиным).
12. Исследования теплоемкости полимеров в интервале отвердевания, в сб., посвященном семидесятилетию акад. А. Ф. Иоффе, М., Изд-во АН СССР, 1950, стр. 260 (совместно с Б. Я. Левиным).
13. Механические свойства эластичных материалов при больших скоростях растяжения, ЖТФ **23**(6), 933 (1953) (совместно с Э. Е. Томашевским и Т. П. Санфировой).
14. Временная зависимость прочности твердых тел, ЖТФ **23**(10), 1677 (1953) (совместно с Б. Н. Нарзуллаевым).
15. Исследования диффузии в полимерах, ЖТФ **24**(5), 797 (1954) (совместно с Г. Я. Рыскиным).
16. Исследование прочности твердых тел. II. Зависимость долговечности от напряжения, ЖТФ **25**(1), 66 (1955) (совместно с Э. Е. Томашевским).
17. Температурно-временная зависимость прочности чистых металлов, ДАН СССР **101**(2), 237 (1955) (совместно с Т. П. Санфировой).
18. Микроскопическое изучение роста трещин при разрыве, ЖТФ **27**(6), 1248 (1957) (совместно с Э. Е. Томашевским).
19. Рассеяние рентгеновских лучей субмикроскопическими дефектами при сверхмалых углах, ЖТФ **27** (6), 1392 (1957).
20. Проблема прочности твердых тел, Вестн. АН СССР, № 11, 78 (1957).
21. Связь между прочностью и ползучестью металлов и сплавов, ЖТФ **28**(8), 1720 (1958) (совместно с Т. П. Санфировой).

22. Исследование макрорадикалов, образующихся при механической деструкции полимеров, ЖТФ **29**(3), 358 (1959) (совместно с С. Е. Бреслером, Э. Н. Казбековым и др.).
23. К вопросу о механизме разрушения твердых тел, ДАН СССР **129**(1), 91 (1959) (совместно с А. В. Савицким).
24. Временная зависимость прочности при различных режимах нагружения, в сб. статей «Некоторые проблемы прочности твердого тела», посвященном 80-летию акад. АН УССР Н. Н. Давиденкова, Киев, 1959, стр. 68 (совместно с Э. Е. Томашевским).
25. Изучение субмикроскопической пористости деформированных полимеров, ФТТ **1** (1), 1159 (1959) (совместно с В. А. Марихиным и А. И. Слуцкером).
26. Определение формы субмикроскопических трещин в деформированных полимерах, ФТТ **1**, 1752 (1959) (совместно с А. И. Слуцкером и В. А. Марихиным).
27. Изучение субмикроскопических дефектов в металлах методом рассеяния рентгеновских лучей под малыми углами, в сб. «Исследования по жаропрочным сплавам», т. IV, М., Изд-во АН СССР, 1959, стр. 197 (совместно с А. И. Слуцкером).
28. Изучение механизма пластификации методом инфракрасной спектроскопии, в сб. «Строение вещества и спектроскопия», М., Изд-во АН СССР, 1960 (совместно с Б. Я. Левиным).
29. К вопросу о повышении прочности стекла, в сб. статей «Некоторые проблемы прочности твердого тела», посвященном 80-летию акад. АН УССР Н. Н. Давиденкова, Киев, 1959, стр. 340 (совместно с Ф. Ф. Витманом, Б. Я. Левиным и др.).
30. Изучение временной и температурной зависимости прочности, ФТТ **2** (6), 1033 (1960) (совместно с Т. П. Санфировой).
31. Температурно-временная зависимость прочности хлористого серебра, ФТТ **2**(6), 1039 (1960) (совместно с Б. Я. Левиным и Т. П. Санфировой).
32. Временная зависимость прочности в условиях высокого вакуума, ФТТ **2**(9), 2066 (1960) (совместно с Б. Я. Левиным и Э. Е. Томашевским).
33. Влияние примесей на температурно-временную зависимость прочности металлов, Физ. мет. и металловед. **10** (3), 453 (1960) (совместно с В. И. Бетехтиным и А. В. Савицким).
34. Изучение макрорадикалов, образующихся при механическом разрушении полимеров, ФТТ **3** (9), 2841 (1961) (совместно с Э. Е. Томашевским и В. А. Закревским).
35. Температурная и временная зависимость прочности полимерных волокон, Высокомол. соед. **3** (3), 441 (1961) (совместно с С. А. Абасовым).
36. Роль химических и межмолекулярных связей при разрыве полимеров, Высокомол. соед. **3**, 450 (1961) (совместно с С. А. Абасовым).
37. Механические свойства резин при больших скоростях растяжения, Высокомол. соед. **4** (2), (1962) (совместно с Т. П. Санфировой и Э. Е. Томашевским).
38. Электронномикроскопическое изучение структуры ориентированного полиметилметакрилата, Высокомол. соед. **4** (2), (1962) (совместно с В. А. Марихиным, Л. М. Романковой и А. И. Слуцкером).
39. Разориентация блоков и прочность алюминия, Физ. мет. и металловед. **13** (5) (1962) (совместно с В. И. Бетехтиным и А. И. Слуцкером).
40. Зависимость прочности полимеров от молекулярного веса, ФТТ **4** (8), 2184 (1962) (совместно с С. А. Абасовым).
41. Замечание по поводу статьи И. Е. Курова и В. А. Степанова, ФТТ **4** (8), 3352 (1962).
42. Связь между механической прочностью и термической дестуркцией полимеров. III, Высокомол. соед. **4** (11), 1703 (1962) (совместно с С. А. Абасовым).
43. Разориентация блоков и прочность металлов, ФТТ **5** (5) (1963) (совместно с В. И. Бетехтиным и А. И. Слуцкером).
44. К вопросу об идентификации α- и β-форм полипептидов методом ядерного магнитного резонанса, Высокомол. соед. **5** (5), 772 (1963) (совместно с Е. А. Егоровым).
45. Влияние растягивающего напряжения на молекулярную подвижность в ориентированных полимерах, ДАН СССР **152** (5), 1155 (1963) (совместно с Е. А. Егоровым).
46. Влияние нагружения на надмолекулярную структуру ориентированных полимеров, ДАН СССР **153** (2), 303 (1963) (совместно с А. И. Слуцкером и А. А. Ястребинским).
47. Связь между температурно-временной зависимостью прочности и характером термической деструкции полимеров, Высокомол. соед. **4** (6), 1092 (1964) (совместно с В. Р. Регелем и Т. П. Санфировой).
48. Образование свободных радикалов при разрушении и деформировании полимеров, содержащих сульфидные связи, ФТТ **6**, 1912 (1964) (совместно с В. А. Закревским и Э. Е. Томашевским).

49. Изучение механохимических превращений в полиэтилене методом инфракрасной спектроскопии, ДАН СССР **157**(6), 1431 (1964) (совместно с И. И. Новаком и В. И. Виттегренем).
50. Временная зависимость прочности двухфазных сплавов на основе алюминия, Физ. мет. и металловед. **17**(4), 564 (1964) (совместно с В. И. Бетехтиным и А. И. Слуцкером).
51. Изменение разориентации блоков в металлах при ползучести, Физ. мет. и металловед. **18**(2), 270 (1964) (совместно с В. И. Бетехтиным, А. И. Петровым и А. И. Слуцкером).
52. Связь упругой деформации ориентированных полимеров с их строением, ФТТ **6** (12), 3601 (1964) (совместно с А. И. Слуцкером и А. А. Ястребинским).
53. Изучение механизма разрушения полимеров методом ЭПР, ДАН СССР **159** (2), 303 (1964).
54. В сб. «Das Problem der Festigkeit fester Körper», Akadimische Verlagsgesellschaft Geest und Portig, Leipzig, 1960, стр. 183.