

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ****КОНФЕРЕНЦИЯ ПО МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ НЕМЕТАЛЛОВ**

Конференция по механическим свойствам неметаллических твердых тел, организованная Международным Союзом чистой и прикладной физики и Академией наук СССР, состоялась в Ленинграде с 19 по 24 мая 1958 г. Выбор места конференции был определен тем, что именно в Ленинграде на протяжении многих лет развивалась деятельность крупной научной школы в области физики твердого тела, возглавляемой акад. А. Ф. Иоффе. Ввиду очень большого масштаба физических и технических исследований твердых тел, было решено ограничить задачи конференции неметаллическими твердыми телами.

Конференция открылась вступительным словом акад. А. Ф. Иоффе. Он охарактеризовал развитие физики кристаллов на протяжении более полувека — в этом развитии А. Ф. Иоффе принимал самое активное руководящее участие. Еще в 1903 г., работая совместно с Рентгеном, А. Ф. Иоффе показал, что в правильном кристалле отсутствует упругое последействие. Правильный кристалл обладает стандартной электропроводностью; диэлектрические аномалии в изолирующих кристаллах объясняются тепловой диссоциацией и электролизом. В диэлектриках соблюдается закон Ома. Действие света и излучения также сводится к диссоциации, движению и накоплению зарядов. Этими работами было доказано, что в области электрических явлений поведение кристаллов подчиняется термодинамике. Изучая (начиная с 1918 г.) механизм пластической деформации кристаллов, А. Ф. Иоффе методом рентгеноструктурного анализа доказал, что видимый изгиб кристалла сводится к сдвигам и поворотам отдельных его участков, причем в каждом участке сохраняется термодинамически устойчивая структура.

Проблема разрушения кристалла сводилась к резкому расхождению между теоретической и практической прочностью. Это расхождение было объяснено влиянием дефектов и в первую очередь поверхностных трещин, в которых локализованы местные перенапряжения. В дальнейшем было показано, что крупное разрушение кристалла имеет статистический характер. Важным этапом развития физики твердых тел явилось изучение релаксационных процессов в аморфных телах (работы П. П. Кобеко, А. П. Александрова, М. И. Корнфельда и Е. В. Кувшинского, вскрывшие физический механизм релаксационных явлений в полимерах).

После того как были заложены основы физики реальных кристаллов, открылся путь к области кристаллических дефектов. Их изучение потребовало существенного уточнения методов исследования. Именно вопросы, связанные с дефектами строения реальных кристаллов, с дислокациями, с прочностью твердых тел явились центральными на этой конференции. «Надеюсь», — сказал А. Ф. Иоффе, — «что мы услышим и обдумим теории дефектов, а не дефекты теории». Он обратил внимание на отсутствие, в настоящее время убедительной теории дислокаций и на невозможность утверждать, что дислокации составляют единственный механизм пластичности. В заключение А. Ф. Иоффе сформулировал основные проблемы современной физики твердого тела. Важнейшей из них он считает установление связи между механическими свойствами и химическим строением твердого тела. Было бы очень интересно объединить в одном материале преимущества различных видов связей — химических и межмолекулярных. А. Ф. Иоффе ожидает больших успехов от изучения поверхностных свойств. Он указал, что вряд ли правильно проведение резкой границы между механическими и электрическими явлениями. Комплексные исследования тех и других явлений особенно удобно проводить на полупроводниках. Мало обоснована также грань между неорганическими полупроводниками и органическими полимерами. Должен существовать постепенный переход от ближнего порядка к дальнему. Наконец, важной проблемой

является изучение области колебаний, лежащей между ультразвуковыми и тепловыми, изучение спектра последних, их ангармоничности, поглощения и рассеяния звуковых волн всех диапазонов.

Первое заседание было посвящено пластической деформации и разрыву кристаллов.

С. Н. Ж у р к о в (Физико-технический институт АН СССР, Ленинград) в докладе «Физические проблемы прочности твердых тел» отметил важнейшую роль временного и температурного факторов, в явлении прочности, и изложил результаты исследования материалов различного характера: поли- и монокристаллические металлы и сплавы, ионные соединения, неорганические и органические стекла, резина. Во всех случаях оказывается справедливым следующее выражение для долговечности τ (времени между моментами нагружения и разрыва):

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{u_0 \cdot \gamma \sigma}{kT}},$$

где σ — растягивающее напряжение, τ_0 , u_0 , γ — константы, зависящие от исследуемого материала. Приведенная формула справедлива в диапазоне времен в 8—10 порядков. Основной характеристикой прочности при заданных σ и T является именно долговечность τ , а не разрывное напряжение. Понятие предела прочности в этом смысле имеет только условное, практическое значение. Молекулярный механизм, лежащий в основе приведенной зависимости, состоит в постепенном развитии в напряженном теле некоторого кинетического процесса, энергия активации которого падает с ростом напряжения: $u = u_0 - \gamma \sigma$. Согласно полученным экспериментальным данным, u_0 для чистых металлов равно энергии связи атомов в кристаллической решетке. τ_0 практически совпадают для всех веществ и имеют порядок величины 10^{-12} — 10^{-13} сек (порядок периода собственных колебаний атомов). Коэффициент γ чувствителен к структурным изменениям, возникающим при термической обработке металла, при наклепе, введении примесей и т. д. Измерения долговечности при заданных σ и T , проведенные в один прием (τ) или в два приема ($\tau_1 + \tau_2$), показывают, что $\tau = \tau_1 + \tau_2$. Следовательно, изменения, возникающие в материале за время τ_1 , сохраняются и после снятия нагрузок. В результате материал оказывается частично разрушенным и обладающим пониженной долговечностью τ_2 .

Доклад Б. В. Д е р я г и н а и М. С. М е д и к а (Институт физической химии АН СССР, Москва) был посвящен роли электрических сил в процессе расщепления слюды по спайности. Слюда представляет собой особенно удобный объект для изучения сил, препятствующих разрастанию трещин. Очень высокие значения работы расщепления (в вакууме порядка 10^3 эрг/см) и ее зависимость от скорости процесса, давления и влажности необъяснимы, если считать, что сопротивление расщеплению зависит только от молекулярных сил. При расщеплении слюды наблюдаются электрические явления, в частности эмиссия быстрых электронов, отвечающая разности потенциалов порядка 10 кэ. Исследование показывает, что при расщеплении преодолеваются значительные электростатические силы притяжения разноименных зарядов с плотностью на поверхностях раскола порядка 100 абс. ед. Электризация этих поверхностей имеет характер знакопеременной мозаики, что было доказано методом электрометрического зонда. Механизм возникновения такого типа электризации определяется строснием реальных кристаллов слюды с межплоскостными прослойками воды. При увеличении скорости расщепления и росте влажности усиливается конкуренция с газовыми разрядами, причем нейтрализуются поверхностные заряды. Плотность зарядов оценивалась также путем наблюдения эффекта Керра при расщеплении слюды в бензоле. На основании исследования слюды и других кристаллов (кварц, гипс, турмалин и т. д.) авторы приходят к выводу о существенной роли электрических сил в прочности хрупких кристаллов.

В докладе А. В. С т е п а н о в а (Физико-технический институт АН СССР, Ленинград) проанализированы данные, относящиеся к характерным для кристаллов видам разрушения: сдвигообразованию, двойникованию и спайности. Анализ этих данных приводит к выводу, что эти процессы суть процессы двустадийные. Они складываются из стадии образования зародышей сдвига, зародышей двойников, зародышей трещин и их последующего развития. Величина энергетического барьера при образовании зародышей того же порядка, что и барьер, определяющий фазовые превращения. Центральная задача проблемы пластичности и прочности кристаллов — всестороннее изучение возникновения зародышей. В работе автора с сотрудниками было показано, что предел упругости на сдвиг равен напряжению, при котором зародыши сдвигов начинают прорастать в толщу кристалла. По-видимому, предел упругости по отношению к двойникованию и предел прочности на разрыв суть также напряжения, при которых возможен рост зародышей этих процессов. Были изучены оптическими методами напряженные состояния в окрестности зародышей разрушения галогенов серебра и таллия. Получены данные об остаточных напряжениях в области зародышей разрушения.

В работе Р. И. Г а р б е р а и его сотрудников И. А. Г и л д и н а и Л. М. П о л я к о в а (Физико-химический институт АН УССР, Харьков) сделана попытка

использовать идею о микротрещинах для описания пластической деформации. При описании явлений, происходящих в кристаллах в условиях пластической деформации, необходимо отказаться от обычно принятого подхода к твердому телу как макроскопически сплошной среде. Пластически деформированное тело следует рассматривать как конгломерат ультрамикроскопических более или менее совершенных блоков, спеченных между собой так, что имеются участки неконтактирующих поверхностей. Пластическая деформация такого конгломерата должна сопровождаться диспергированием, восстановлением и «спеканием» блоков в их новом положении. В результате такого «спекания» силы сцепления восстанавливаются и восстанавливается сплошность кристалла. Это приводит к сохранению первоначальной прочности кристалла после перегруппировки разрывов, поворота блоков, сдвигов и дробления блоков.

Ю. Н. Р и б и и н (Лаборатория физики высоких давлений АН СССР, Москва) сообщил результаты измерения пластичности при осевом растяжении цилиндрических образцов под высоким гидростатическим давлением. По мнению автора, основной причиной увеличения пластичности в рассмотренном случае является изменение схемы напряженного состояния под действием гидростатического давления. Данные, полученные в работе, совпадают с известным результатом П. Бриджмена. Однако для ряда металлов (латунь, сталь-45) обнаружена нелинейная зависимость предельной пластичности от давления, не наблюдавшаяся ранее в опытах Бриджмена.

Результаты изучения сопротивления алмаза истиранию были доложены Е. М. В и л к с и Д ж. В и л к с (Лаборатория Кларендон, Оксфорд). Сопротивление алмаза истиранию зависит от кристаллографической ориентации грани относительно направления истирания. Авторы воспользовались методом изучения микроистирания, предложенным Гродзинским. Твердость оказалась резко зависящей от ориентации полированной грани. Так, кубические грани обнаруживают только четырехкратную симметрию твердости, если они расположены под углом в 30° к кубической плоскости решетки. Измерения в кубической-додекаэдрической зоне показывают, что на поверхности, отклоняющейся на 5° от кубической ориентации, проявляется заметная анизотропия. Скорость шлифовки пропорциональна скорости истирания. Этот результат согласуется с представлением о механическом, но не химическом разрушении поверхности. Авторы подчеркивают, что большие вариации в наблюдаемой твердости алмаза связаны с методами испытаний. В работе исследовано влияние природы абразивного материала на истирание алмаза.

Изучению механических свойств антимонида индия был посвящен доклад Г. П. Ф р е д е р и к с е, Р. Ф. П о т т е р и Р. Б. Ф л и н е н (Национальное бюро стандартов, Вашингтон). Упругие и пластические свойства In Sb исследовались с помощью резонаторной техники на частотах 40—50 кгц в интервале температур от 78°K до температуры плавления. Измеренные значения трех упругих постоянных кубической решетки In Sb согласуются с теорией Борна — Смита. Температура Дебая оценена в 208°K , что соответствует $\theta_D = 200^\circ \pm 5^\circ\text{K}$ — значению, определенному из теплоемкости. Сравнение ряда кристаллов приводит к выводу о понижении c_{11}/c_{12} с увеличением степени ионности связи, которая для In Sb, оценивается в 20%. Механические потери в In Sb сильно зависят от структуры. Широкие релаксационные пики наблюдаются в интервале 50— 350°C для продольных и крутильных колебаний. Изучение гистерезисных явлений и затухания колебаний указывают на то, что затухание связано с дислокациями. Затухание мало при 500°C , но быстро возрастает непосредственно перед плавлением 523°C .

В конце раздела, посвященного пластической деформации и разрушению кристаллов, были заслушаны два теоретических доклада.

А. Н. О р л о в и Ю. М. П л и ш к и н (Институт физики металлов АН СССР, Свердловск) рассмотрели условия равновесия одномерной модели кристалла для атомной цепочки, в которой энергия взаимодействия V_i соседних атомов, находящихся на расстоянии x_i , равна

$$V_i = -Ax_i^{-\mu} + Bx_i^{-\nu},$$

где A , B и $\mu < \nu$ — положительные константы. Особый интерес представляет случай большого числа атомов в незначительно растянутой цепочке. Показано, что в этом случае существует метастабильная равновесная конфигурация, в которой в одном месте межатомное расстояние x_i значительно больше других (разрыв цепочки). Авторы рассмотрели трехмерный кристалл, как совокупность нескольких взаимно пересекающихся семейств цепочек, и при дополнительных упрощающих предположениях оценили критический размер $R = R_c$ плоской трещины. При $R > R_c$ энергия кристалла с трещиной меньше энергии кристалла, подвергнутого одностороннему растяжению.

Доклад Т. А. К о н т о р о в о й (Институт полупроводников АН СССР, Ленинград) был посвящен учету влияния ангармоничности колебаний решетки на процесс пластической деформации. Ранее Я. А. Френкелем и Т. А. Конторовой была предложена микроскопическая теория процесса пластической деформации кристаллов для простейшей модели — одномерной цепочки атомов, связанных друг с другом упруги-

ми силами и взаимодействующих с периодическим полем подкладки. Было показано, что, помимо обычных малых колебаний в такой цепочке, возможно коллективное движение цепочки из узла в узел, приводящее к сдвигу всей цепочки в целом на расстояние, кратные постоянной решетки. В развитии этой теории проведен учет влияния ангармоничности сил взаимодействия между частицами цепочки на процесс коллективного перемещения. Анализ исходных положений теории с учетом ангармоничности показывает, что распространение сдвига вдоль цепочки возможно только тогда, когда взаимодействие частиц цепочки с подкладкой является более слабым, чем их взаимодействие друг с другом. Следующее заседание было посвящено экспериментальному исследованию дислокаций.

Большой интерес и дискуссию вызывало сообщение Дж. Гильмана и В. Г. Джонсона (Лаборатория Джeneral Электрик, Скенэктеди) «Движение дислокаций в кристаллах фтористого лития». Движение дислокационных линий наблюдалось методом избирательного растворения по мере перемещения дислокации. Если известно время приложения нагрузки, то возможно рассчитать среднюю скорость движения дислокации. Изучалось влияние различных факторов (тип дислокации, плоскость скольжения, напряжение, температура, загрязнение и радиационные нарушения) на скорость перемещения дислокации. Как показали опыты, скорость движения дислокации очень резко снижается с уменьшением напряжения, стремящегося к определенной критической величине, ниже которой движение дислокации не происходит. Зависимость скорости от напряжения прослежена в большом диапазоне, начиная от скорости перемещения дислокаций в несколько атомных расстояний в секунду до 3×10^{12} атомных расстояний в секунду (величина, близкая к скорости звука). Удалось установить связь между критическим скалывающим напряжением и размножением дислокаций, а также наблюдать взаимодействие между дислокациями, которое имеет место при деформационном упрочнении.

С. А. Амелинкс (Лаборатория для исследования кристаллов, Гент) сообщил о результатах своих исследований в щелочно-галлоидных кристаллах. В работе использовался метод обнаружения дислокаций в прозрачных кристаллах путем микроскопического наблюдения видимых частиц, образующихся вдоль дислокационных линий (метод декорирования). Такие опыты при изучении дислокаций в щелочно-галлоидных солях были осуществлены разными путями. Была рассмотрена различная техника эксперимента и сопоставлены результаты, найденные различными методами. Наблюдения, полученные методом декорирования, интерпретируются на базе современной теории дислокаций.

М. В. Классен-Неклюдова, В. А. Инденбом, А. А. Урусовская и Г. Е. Томиловский (Институт кристаллографии АН СССР, Москва) в своем докладе сопоставили результаты оптического исследования кристаллов с распределением фигур травления. Изучались кристаллы Al_2O_3-LiF поляризационно-оптическим методом и методом избирательного травления. Сопоставление оптических измерений с плотностью фигур травления в линиях скольжения, а также исследование убывания напряжения по мере удаления от линии скольжения свидетельствуют об удовлетворительном согласии теории с экспериментом. Некоторые линии скольжения отвечают простейшей модели горизонтального ряда краевых дислокаций. Изучение напряжений и поворотов решетки, связанных с «иррациональными двойниками», и распределение фигур травления показывают, что указанное явление не может быть противопоставлено трансляции, но и не сводится к образованию полос сброса или полос деформации. Наблюдались движения и размножения дислокаций. Показано, что винтовые дислокации более подвижны, чем краевые. В линиях скольжения, вызванных концентрированной нагрузкой, по мере удаления от места нагружения дислокации группируются в поперечные ряды. Эффект объясняется взаимодействием дислокации в параллельных линиях скольжения. Обсуждена возможность оптического исследования отдельных дислокаций.

Результаты наблюдения пластической деформации в каменной соли с помощью двойного лучепреломления совместно с интерференционным и электронографическим изучением поверхностного рельефа доложены М. П. Шаскольской и Сунь Жуйфан (Институт стали, Москва). В начальной стадии, как показывает опыт, пластическая деформация происходит путем скольжения. Плоскости скольжения или совокупность близко отстоящих плоскостей скольжения соответствуют полосе двойного лучепреломления. Обнаружено, что выход плоскости скольжения на противоположных сторонах кристалла неодинаков по величине. Это свидетельствует о наличии задержанных дислокаций в кристалле. Предполагается, что такие задержанные дислокации вызывают те остаточные напряжения, которые дают полосы двойного лучепреломления. На кристаллах хлористого серебра изучено появление линий скольжения в сочетании с исследованием дупреломления и с выявлением дефектов структуры методом избирательного травления и декорирования. Показано, что волнистые линии скольжения в заключительной стадии являются тоже прямолинейными.

А. А. Чернов (Институт кристаллографии, Москва) указал на возможность вывода кинетического уравнения для ступеней на поверхности кристалла. Введя функ-

дию распределения ступеней по их высоте, он получил кинетическое уравнение, описывающее коагуляцию и распад ступеней в процессе роста и растворения кристалла. Рассмотрена задача о временном ходе коагуляции ступеней.

Большой интерес вызвала демонстрация кинофильма об образовании дислокационных центров роста и испарения кристалла. Фильм изготовлен Г. Г. Лемлейном и Е. Д. Дуквой (Институт кристаллографии, Москва). Показан процесс образования винтовой дислокации и появления спирали роста на поверхности кристалла. Центры спирального роста образуются при зарастании входящих углов дендритных кристаллов. Демонстрируется спирально-слоистый рост и спирально-слоистое испарение кристалла, а также преобразование спирали роста в спираль испарения.

В. Н. Рожанский, Ю. В. Горюнов, Е. Д. Щуккин и П. В. Перцов (Московский университет и Институт физической химии АН СССР, Москва) отметили, что понижение поверхностного натяжения под влиянием адсорбции поверхностно-активных веществ оказывает существенное воздействие на выход дислокаций на поверхность кристалла и на образование и развитие трещин. Одно из проявлений этого эффекта заключается в появлении хрупкости под влиянием расплавленных металлических покрытий.

Три доклада были посвящены механическому двойникованию.

Р. И. Гарбер (Физико-технический институт АН УССР, Харьков) сделал доклад «Механические свойства единичных двойниковых прослоек». Изучалась зависимость толщины двойниковых прослоек от напряжения при ступенчатом и плавном повышении последнего. При плавном нагружении в зависимости от скорости увеличения напряжения наблюдается замедленное, ускоренное или плавное изменение толщины прослойки. Длина, толщина и ширина упругих двойников при ступенчатом нарастании нагрузки увеличиваются в течение длительного времени каждого ступенчатого увеличения груза. Механические свойства двойниковой прослойки не зависят от направления процесса двойникования. Новая прослойка, образовавшаяся в том же месте кристалла, обладает такими же механическими свойствами, какие имела на соответствующей стадии деформации уничтоженная двойниковая прослойка.

Е. В. Цинзерлинг (Институт кристаллографии АН СССР, Москва), сообщил о весьма интересном явлении «памяти» решетки кварца. Это явление наблюдается у кварца после отжига кристалла, раздвойникового деформацией кручения. Чем труднее двойникуется кристалл, тем легче возвращается он в исходное состояние. Такой возврат к первичной ориентировке (память) имеет место только в кварце, загрязненном примесями.

Особенностям деформации полисинтетических двойников на примере кристаллов сегнетовой соли был посвящен доклад М. А. Чернышевой (Институт кристаллографии АН СССР, Москва). Сегнетова соль в интервале температур от -18° до $+24^\circ$ С переходит из ромбической фазы в моноклинную и становится полисинтетическим двойником. По данным оптических исследований двойниковые компоненты имеют форму тонких слоев неравномерной толщины. Искажения двойникового рисунка под действием механических и электрических полей дают возможность судить о характере дефектов кристалла. Изучение температурного хода угла поворота оптической индикатрисы, пропорционального углу двойникования, позволило определить термодинамический потенциал сегнетовой соли в интервале температур между точками Кюри.

Локальные деформационные явления обсуждались в докладах Е. М. Елистратова, Д. М. Васильева и Ю. К. Аулейтнера.

В докладе Е. М. Елистратова (Институт полупроводников АН СССР, Ленинград), посвященном деформационным явлениям при распаде пересыщенных растворов, приводятся данные, полученные в результате рентгеновских исследований. Показано, что в твердых растворах (Be—Cu, Ag—Al, Zn—Al, Te—Ni—Al) эффект аномального рассеяния, соответствующий областям рассеяния, окружающим узлы обратной решетки твердого раствора, в основном обусловлен нарушениями, вошедшими в самую матрицу в результате напряжений, созданных зародышами выделяющейся фазы. На ранней стадии распада раствора (Be—Cu, Ag—Al, Zn—Al) цилиндрические области рассеяния (так называемый эффект двумерной дифракции), рассматривавшиеся ранее как эффект от плоских зон Гинье — Престона, в действительности обусловлены рассеянием от плоских областей с резко пониженной электронной плотностью («субмикротрещины»). Эти субмикротрещины являются деформационными нарушениями в матрице. Интерпретация эффектов двумерной дифракции как эффектов формы от субмикротрещин хорошо подтверждается обнаружением их при распаде твердого раствора меди в германии при крайне малом содержании меди ($\sim 10^{-4}$ ат%).

Д. М. Васильев (Политехнический институт, Ленинград) прочел доклад «О микронапряжениях, возникающих в поликристалле при пластической деформации».

В докладе рассматривается предложенная автором гипотеза о возникновении при пластической деформации ориентированных микронапряжений. Это предположение позволяет наглядно объяснить наблюдаемое после однородной пластической деформации

ции смещение рентгеновских линий. Делается заключение о том, что дезориентированных микронапряжений (в смысле обычных представлений) вообще при деформации не возникает. Ориентированные микронапряжения, можно полагать, возникают вследствие существования в пластически деформированном образце «сильных» и «слабых» областей.

Ю. К. Аулейтнер (Варшава) рассказал об «Определении ориентировки блоков мозаики при помощи острофокусной рентгеновской трубки». Метод основан на фотографировании брегговских рефлексов при синхронизации движения с осциллирующим перемещением кристалла. Таким путем удается установить дезориентацию мозаики при углах, больших 30° . Источником рентгеновых лучей служила сконструированная автором острофокусная трубка с фокальным пятном в $20-30 \mu$.

Об исследовании радиационного упрочнения кристаллов хлористого натрия сообщил С. А. Амелинкс (Гент). Упрочнение поверхности кристалла хлористого натрия при облучении рентгеновыми лучами (при 40 кэ , излучение меди) изучалось в зависимости от расстояния трубки до кристалла и времени облучения. Измеренное упрочнение соответствует количеству поглощенных рентгеновых лучей для различных полос поглощения. Найдено, что облученная поверхность травится более интенсивно, чем необлученная. Результаты опыта можно объяснить, предполагая, что агрегация точечных дефектов может привести к эффекту упрочнения.

Следующее заседание конференции было посвящено прочности аморфных тел.

В докладе М. И. Бессонова, С. К. Захарова, Г. А. Лебедева, Е. В. Кувшинского (Институт высокомолекулярных соединений Академии наук СССР, Ленинград) были сообщены результаты исследования механического разрушения твердых полимерных материалов. Механическое разрушение является локальным процессом, сводящимся к возникновению, прорастанию и слиянию отдельных трещин в напряженной деформирующейся среде. Авторы исследовали разрушение полиметилметакрилатного органического стекла (плексиглас). Вскоре после нагружения на поверхности образца возникают множественные поперечные трещины, которые разрастаются, сохраняя форму полукруглости. Когда размеры трещин становятся соизмеримыми с расстояниями между ними, наступает стадия их согласованного роста. Разрыв происходит при безудержном росте одной из трещин, возникающем при ее слиянии со вторичными трещинами. Интересно, что в умеренно нагруженных образцах могут возникать трещины, распространяющиеся почти на все сечения образца, но не влекущие за собой разрыв. Установлена прямая связь между разрушением материала и накоплением деформаций ползучести.

С. Н. Журков, В. А. Марихин и А. И. Слущкер (Физико-технический институт АН СССР, Ленинград) изучали субмикроскопическую пористость деформированных полимеров. Для выяснения природы помутнения образцов полимеров, возникающего при их деформации, изучались светорассеяние, рассеяние рентгеновых лучей под малыми углами и изменения плотности в органическом стекле и нитроцеллюлозе. Изучение зависимости коэффициента рассеяния света от длины волны, определение индикатрисы рассеяния и изучение степени поляризации показывают, что рассеяние происходит в соответствии с теорией Ми и обусловлено наличием субмикроскопических пустот с размерами порядка сотен ангстрем. К тем же результатам приводит изучение рассеяния рентгеновых лучей с $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ и изменений плотности ($\Delta\rho/\rho \sim 10^{-3} - 10^{-2}$), выполненных флотационным способом и методом гидростатического взвешивания. Возможно, что образование таких пустот является начальной стадией процесса разрушения полимера.

Доклад Г. М. Бартенева (Институт стекла, Москва) был посвящен влиянию размеров образца на прочность стекол. Была обнаружена анизотропия эффекта. В частности, прочность стеклянного волокна не зависит от его сечения, но зависит от длины, от вытянутости волокна. Эти данные не согласуются со статистической теорией прочности и могут быть объяснены ориентацией длинных цепей, образованных атомами кремния и кислорода. Прочность плоских образцов стекол также зависит от их размеров анизотропно, причем толщина пластинки оказывает на прочность влияние, отличное от влияния других размеров. Зависимость прочности от толщины связана с различными условиями на поверхностях тонких и толстых стекол. Это различие в условиях определяется, по-видимому, временными термоупругими напряжениями, возникающими в процессе изготовления стекла. Такие напряжения вызывают образование микротрещин при стекловании. Зависимость прочности от других размеров может быть объяснена статистической теорией.

В докладе Хсиао (Университет Миннесота, Технологический институт, Миннеаполис, США), посвященном молекулярной ориентации и прочности полистирола, была изложена попытка интерпретации экспериментальных данных на основе простой модели. Автор предполагает, что можно представить структуру полимера в виде совокупности линейных молекулярных элементов, ответственных за прочность материала. Прочность зависит от степени ориентации таких элементов и может быть вычислена при учете азимутов ориентации. Автор привел данные, относящиеся к одностороннему растяжению полистирола, свидетельствующие, по его мнению, о согласии теории

с опытом. Выступавшие в дискуссии не согласились с д-ром Хсиао и указали, что рассматриваемая им элементарная модель не может охарактеризовать прочность полимеров.

В работе Г. А. Лебедева и Е. В. Кувшинского (Институт высокомолекулярных соединений АН СССР, Ленинград) «Установление высокоэластической деформации у аморфных материалов типа полиметилметакрилата, находящихся в твердом состоянии», показано, что установление деформаций резиноподобной упругости резко замедляется при понижении температуры. В области температур вблизи температуры стеклования деформации заметной величины могут возникнуть за короткое время лишь под действием больших напряжений. Исследования условий образования шейки и анализ времен релаксации на различных участках кривой растяжения показали, что явление отлично от пластичности металлов. При растяжении аморфного полимера осуществляется обычный процесс установления высокоэластической деформации, описываемой уравнением Максвелла.

На последнем заседании были прочитаны три доклада, посвященные несовершенным кристаллическим состояниям.

В докладе А. С. Ахматова и Л. В. Кошляковой (Институт машиностроения и приборостроения, Москва) «Исследование упругих свойств двумерных молекулярных кристаллов жирных кислот, сформированных на поверхности кристалла» рассматривался вопрос о физической природе механического сопротивления, развиваемого адсорбционными силами на поверхности металла, покрытого слоями, выполняющими функцию смазки. Авторы разработали и применили метод «стопа граничных слоев», дающий возможность проведения весьма точных измерений. Показано, что жирные кислоты, находящиеся в объеме в капельно-жидком или пластически-вязком состоянии, приобретают на границе слоя истинную упругость формы. Упругие константы граничных слоев являются убывающими функциями толщины слоя, что указывает на неоднородность граничной фазы вдоль нормали к поверхности. Показано также, что при увеличении длины углеродной цепи модуль сдвига падает, а модуль Юнга возрастает. Авторы интерпретировали полученные данные, исходя из структуры молекул. Они показали, что тангенциальное сопротивление скольжению пропорционально квадрату числа взаимодействующих групп CH_3 и CH_2 , а нормальное сопротивление растяжению и сжатию пропорционально кубу этого числа. При деформации углеродной цепи нарушается компенсация дипольных моментов связей $\text{C}-\text{H}$ и возникает дипольный момент, являющийся функцией деформации.

М. В. Волькенштейн (Институт высокомолекулярных соединений АН СССР, Ленинград) прочел доклад на тему «Аморфное и кристаллическое состояние полимеров». Большая способность полимеров к стеклованию определяется относительно малой подвижностью макромолекул. Качественная теория стеклования может быть основана на рассмотрении кинетической системы с одним временем релаксации. Теория приводит к соотношению

$$\left(\frac{dz}{dT} \right)_{T=T_g} = \left(\frac{dT}{dt} \right)^{-1},$$

где τ — время релаксации, T_g — температура стеклования. Теория дает полное качественное описание всех наблюдаемых при стекловании фактов. Неполностью кристаллические полимеры должны рассматриваться как однофазные системы, как сильно дефектные поликристаллы. Дефекты — аморфные области — определяются кинетическими и стерическими препятствиями кристаллизации. Равновесному состоянию монодисперсного, регулярного полимера отвечала бы полная кристаллическость. Кинетические дефекты уменьшаются при нагревании и набухании, что доказывается методами рентгенографии и инфракрасной спектроскопии. При растяжении аморфного полимера в каждой цепи происходит кооперативный процесс перехода свернутых поворотных изомеров в вытянутые, что непосредственно доказывается методом поляризационной инфракрасной спектроскопии. Автор высказал убеждение в необходимости пересмотра современной сеточной теории высокоэластичности, учитывающего лачечную структуру аморфных полимеров (исходя из представлений В. А. Каргина, А. П. Китайгородского и Г. Л. Слонимского) и кооперативный характер процесса растяжения.

Выступавшие в дискуссии Г. Л. Слонимский и А. И. Китайгородский указывали на необходимость изменения понятия фазы применительно к кристаллическим полимерам. Г. Л. Слонимский изложил концепцию, развиваемую им и В. А. Каргиным, согласно которой равновесное состояние полимера отвечает неполной кристаллизацией.

В докладе А. И. Китайгородского (Институт элементоорганических соединений АН СССР, Москва) были рассмотрены некоторые проблемы физики органических кристаллов. Свободная энергия органического кристалла определяется плотностью упаковки и симметрией молекулы в кристалле. При понижении температуры происходит значительное уменьшение расстояний между атомами, которые не находятся в контакте. Автор связывает это явление с уменьшением роли энтропийной

компоненты свободной энергии. При нагревании кристаллов в ряде случаев наблюдаются фазовые переходы, которые автор называет переходами в газокристаллическое состояние. При этом сохраняется дальний порядок в расположении центров тяжести молекул, но не в их ориентациях. Переход из кристаллического в газо-кристаллическое состояние подобен плавлению.

Значительный интерес представляет поведение смесей оптических антиподов газокристаллических веществ. Их диаграмма состояния имеет вид горизонтальной прямой, что объясняется сохранением идентичной элементарной ячейки при любых концентрациях. В таких растворах происходит непрерывный переход от кристаллов без центра симметрии к центросимметричным. В заключение докладчик остановился на анизотропной электропроводности органических кристаллов и ее зависимости от характера упаковки молекул. В дискуссии было отмечено, что представления о газо-кристаллической фазе полностью совпадают с представлениями об ориентационном плавлении, развитыми в свое время Я. И. Френкелем.

В своем заключительном слове акад. А. Ф. Иоффе отметил научную ценность ряда прочитанных докладов и дискуссий и высказал убеждение в том, что дискуссии на конференции значительно прояснили проблему дислокаций.

Д-р Г и л ь м а н от имени иностранных участников конференции обратился со словами благодарности к Организационному Комитету и отметил успех конференции, как шаг на пути установления тесного международного сотрудничества ученых.

М. Волькенштейн
