

**ОСНОВЫ РАСХОЖДЕНИЯ
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРАКТИЧЕСКОЙ
ПРОЧНОСТИ ГЕТЕРОГЕННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Максудӣ А.Т. – кандидат физико-математических наук, доцент, директор Худжандского научного центра, Национальная Академия Наук Таджикистана, e-mail: atmaxudov@mail.ru

Тошходжаев Хаким Азимович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры электроники ГОУ «ХГУ имени академика Бободжана Гафурова», e-mail: mr.toshkhodzhaev@mail.ru

Юсупов З.Н. – кандидат физико-математического наук, доцент, заведующий кафедрой электроники физико – технического факультета, ГОУ «ХГУ имени академика Бободжана Гафурова», e-mail: zarif_1972@mail.ru

Максудов Дж. А. – докторант Худжандского научного центра, Национальная Академия Наук Таджикистана.

Джалилов Ф. – кандидат физико-математических наук, доцент Политехнического института Таджикского Технического Университета им. академика М.С. Осими в городе Худжанде, e-mail: Jalilov_47@mail.ru

**АСОСҶОИ НАЗАРИЯВӢ ВА
АМАЛИИ ФАРҚИЯТИ БАЙНИХАМАЛИИ
МУСТАҲАКАМИИ МАВОДҶОИ
ГЕТЕРОГЕНӢ**

Мақсудӣ А.Т. – номзади илмҳои физика-математика, дотсент, директори Маркази илмии Хучандии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, дар шаҳри Хучанд, e-mail: atmaxudov@mail.ru

Тошхӯҷаев Ҳаким Азимович – доктори илмҳои физика-математика, профессори кафедраи электроникаи МДТ «ДДХ ба номи академик Бобоҷон Гафуров», ш. Хучанд, e-mail: mr.toshkhodzhaev@mail.ru

Юсупов З.Н., – номзади илмҳои физика – математика, дотсент, мудири кафедраи электроникаи факултети физика техникии МДТ «ДДХ ба номи академик Бобоҷон Гафуров», e-mail: zarif_1972@mail.ru

Мақсудов Ҷ.А. – докторанти Маркази илмии Хучандии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, дар шаҳри Хучанд.

Ҷалилов Ф. – номзади илмҳои физика – математика, дотсенти Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ дар шаҳри Хучанд. e-mail: Jalilov47@mail.ru

**THE SOUNDS OF DIVERGENCE OF
THEORETICAL AND PRACTICAL
STRENGTH OF HETEROGENEOUS
MATERIALS**

Maksudov A.T. – Director of the Centre of Science of Academia of Science of the Republic of Tajikistan, e-mail: atmaxudov@mail.ru

Toshkhodzhaev Khakim Azimovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Electronics of KSU named after Academician Bobodzhan Gafurov, e-mail: mr.toshkhodzhaev@mail.ru

Usupov Z.N. – Candidate of physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Electronics of the Faculty of physics and Technology,

Khujand State University by name academician Bobojon Gafurov, e-mail: zarif_1972@mail.ru
Maksudov J.A. – Doctorant of the Centre of Science, Academia of Science of the Republic of Tajikistan.
Jalilov F. – Candidate of Physics – Mathematics Science of Khujand Polytechnic Institute of Tajik Technical University named after M.Osimi, e-mail: Jalilov 47 @ mail. ru.

Вожаҳои калидӣ: вайроншавӣ, энергия активатсия, полимерҳо, деформатсия, мустаҳкамӣ, дарозумрӣ, шиддат.

Дар мақолаи мазкур ба назарияи вайроншавии ҷисмҳои сахт такя намуда, энергияи активатсияи қувваҳои вайроншавӣ, гузариш аз ҳолати мувозинатии устувор ба ҳолати мувозинатии ноустувор, бузургии қори иловагӣ дар ҳадди $F_m = f$ иҷро шуда муайян карда шудааст. Графики вобастагии $U(f)$ аз $\frac{f}{F_m}$ ва U аз r -ро сохта, табиати ғайрихаттӣ доштани ин вобастагиҳо нишон дода шудааст ва ҳангоми зиёд будани адади бандҳо ($n \approx 100$) вобастагии ба хатти рост наздик шудани он ва муодилаи (1) қаноатманд кардани ин вобастагиҳо нишон дода шудааст. Табиати байниҳамамалии максимуми қўтоҳи басомад дар полимерҳои бебор муайян карда шуда, натиҷаи тадқиқоти таҷрибавӣ пешниҳод шудааст ва маълум карда шудааст, ки дар полимерҳои борӣ сарборӣ нашуда тасмаи спектралӣ аз қабати тунуки тақрибан як микрон сабт шуда ҳамчун тасмаи спектралӣ борӣ гузошта мушоҳидаи тағиротҳо, деформатсияи тасмаи спектралӣ, ғеҷиши максимуми тасма ва байниҳамамалии максимуми иловагии дарозмавҷ ба назар мерасад.

Ключевые слова: разрушение, энергия активации, полимеры, деформация, прочность, долговечность, напряжение.

В данной статье рассмотрены разрывы и связи вдоль линии действия силы, которые необходимы для перехода из положения устойчивого равновесия в положение неустойчивого равновесия, которое определяется из величины заданной силы, приложенной к связи. Для совершения этого перехода необходимо выполнение добавочной работы за счёт тепловых усилий над уровнем $F=f$. Эта работа и есть величина энергетического барьера разрушения связи. Построен график зависимости $U(f)$ от $\frac{f}{F_m}$, U от r который оказался нелинейным, однако при больших цепочках ($n \approx 100$) он является близок к прямой и удовлетворяет уравнению (1), выяснена природа возникновения низкочастотного максимума в ненагруженных полимерах, представлены результаты экспериментальных исследований и показано, что в спектрах микронных поверхностных слоёв полимеров также, как и в спектрах нагруженных полимеров, наблюдалась деформация полос смещения основного максимума и появления низкочастотного максимума на длинноволновом крыле полосы поглощения.

Key words: destruction, activation energy, polymers, deformation, strength, durability, tension

The article dwells on ruptures and ties along the line of force action which are necessary for a transition from a position of stable equilibrium into that are of unstable equilibrium; the latter being determined according to the magnitude of a given force applied to ties. In order to carry out this transition one should perform an additional work at the expense of thermo efforts oven $F_m = f$, level. Just this work is a manicure of energetic barriers destroying ties. The schedule $U(f)$ is built being dependent on $\frac{f}{F_m}$. It is U from r which turned out to be non-linear; however, under big chains ($n \approx 100$) I close to the direct line satisfying equation (1): the authors elicited the nature of the emergence of low-frequented maximum in overloaded polymers, they presented the results of experimental studies and showed that in the spectra of micron surfaces, just as in those ones of loaded polymers, there was observes a deformation of shifted stripes of major maximum and an emergence of low-frequently maximum on a long-wave wing of the stripe of absorption.

Разработка теоретических основ процесса разрушения гетерогенных и композиционных материалов в настоящее время является одним из приоритетных направлений теории и практики выяснения истинной причины расхождения как теоретической, так и практической прочности материалов.

Рассмотрение идеи определения энергии активации разрыва напряжённой связи впервые было проанализировано в работе [1]. Несмотря на достаточность полученных теоретических выводов автором данной работы [см 1], данная идея также была исследована другими авторами [2,3], достигшими тождественного решения. Наиболее достоверное мнение отражено в работе [4], которая была посвящена не только проблеме механического разрушения, но также и анализу вязкого течения полимеров. в вышеперечисленных трудах известных учёных, где делается упор на предположение процесса флуктуационного разрыва соединений, «внешняя» сила которого остаётся постоянной, каким бы изменениям не поддавалось данное соединение (случай очень длинной цепочки и очень большой скорости распространения механического импульса). Чтобы разорвать связь на силовой линии, необходимо перейти из положения устойчивого равновесия в состояние неустойчивого равновесия, оба из которых определяются величиной силы, приложенной к соединению (связи). Для такого перехода за счёт тепловых сил с уровня $F=f$ требуется основная, но добавочная работа, являющаяся стоимостью энергетического барьера обрыва связи.

При разрушении натянутого соединения выполняемой работы, затрачиваемая на её отсоединение энергия делится следующим образом: на долю механической силы $D-U$, которая в свою очередь состоит из 3-х частей:

1. Относительно малой части энергии, затраченной в результате нагрузки связей в начальный момент времени.

2. Работа одинаковой по созданию силы изменения дистанции между атомами $f(r_2-r_1)$, которая совершается одновременно с действиями тепловой флуктуации (подъём. на ину барьера U).

3. Работа по отрывании связи (положение от вершины барьера до состояния разрыва), равной $\int_{r_2}^{\infty} F(r)dr$.

В схеме распада не наблюдается фиксированного состояния отозвания связи, так как постоянная внешняя сила начинает находиться в состоянии постоянности, а её потенциал становится линейным и неограниченным. Вспоминаем некоторые предположения, приведённые в работах учёных (см. литературу), которые утверждают, что внешняя сила по отношению к разорванным связям формирует взаимодействия с соседними атомами. В связи с чем более корректно рассмотреть лишь распад атомов по линейной цепочке, обладающей ограниченным запасом механической энергии [5,6,7].

Как было отмечено, силовая зависимость разрыва активной энергии межатомной связи оказалась нелинейной, от слитной части для больших цепочек (n велико) полученная зависимость удовлетворяет расчётное уравнение за счёт дополнительных термических напряжений, которые совершили свою работу.

$$\Gamma(a) = \frac{1}{\Gamma(a)} \int_0^{\infty} x^{a-1} e^{-x} dx \quad (1)$$

График зависимости $U(f)$ от $\frac{f}{F_m}$ оказался нелинейным, но при больших цепочках ($n \approx 100$) он близок к прямой и удовлетворяет уравнению (1).

В этих условиях внешняя сила f уменьшается при флуктуационном удлинении распадающихся связей (остальные связи сокращаются), в результате чего положение неустойчивого равновесия сместится в сторону большей деформации. Высота энергетического барьера несколько возрастает, но зато появится второй минимум потенциальной энергии, который будет соответствовать разорванному состоянию цепочки.

Как уже ранее было отмечено в проведённых работах, удлинение связей в первую очередь происходит в результате действия механического напряжения. В самом деле, натягивание некоторой единичной связи в твёрдое тело, которое находится под нагрузкой, осуществляется благодаря механическому натягиванию целой группы других связей, расположенных в окрестностях очагов разрушения. Поэтому, создающая условие разрушения

энергия элементарных действий разрыва связей и её изменение для веществ в окрестности места разрушения определяются лишь напряжённым положением.

В теории разрушения для полости (трещины) в напряжённой упругой среде, которая была разработана Гриффитом [8], упругая энергия рассматривалась в запасной окрестности трещины, считающейся основным источником энергии для образования новых поверхностей. Отсюда были выведены энергетические мерки разрушения – условия разрастания трещины в твёрдых телах.

В результате чего, условие разработанное Гриффитом, способствовало также нахождению величины внешнего напряжения σ , с которой начинается трещина длиной $\ell_{тр}$, при этом она теряла устойчивость и стремительно разрасталась:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2E\omega}{\pi\ell_{тр}}} \quad (2)$$

где E – модуль упругости, ω – удельная поверхностная энергия, $\ell_{тр}$ – длина трещины.

Разрушение твёрдых тел согласно формуле [2], связывалось в окрестности разрушения путём энергетического состояния материала, и в связи с чем именно эту окрестность принято считать источником энергии и силы, необходимых для разрушения.

При наблюдении над данным обстоятельством возникает вопрос. Допустим, если энергия в окрестности некоторой точки достаточна, может ли она «сжаться» до этой точки, чтобы осуществить локальный разрыв, т. е. будут ли достаточны энергия и необходимая сила в местах (разрыва) перелома? Если энергетический критерий разрушения осуществляется, всегда ли это соответствует также и выполнению силового критерия?

Данные вопросы возникли после первого опыта Гриффита. Чтобы получить достоверный ответ на эти и другие подобные вопросы обратим своё внимание к выражению локального напряжения на контуре трещины.

$$\sigma_{лок} \approx \sigma \sqrt{\frac{\ell_{тр}}{\delta}}, \quad (3)$$

где δ – межатомное расстояние, $\sigma_{лок}$ – локальное напряжение. Затем с помощью формулы Гриффита получили (2) и оценочное выражение для удельной поверхностной энергии

$$\omega \approx 0,1E \cdot \delta \quad (4)$$

для локального напряжения формулу

$$\sigma_{лок} \approx 0,3E \quad (5)$$

Согласно формуле (5) напряжение в вершине распространяющейся трещины оказалось соответствующим по величине порядка теоретической прочности материала. Приведённая оценка показала известное соответствие энергетического и силового критериев разрушения. Но такие оценки весьма жёсткие и не могут претендовать на точность более чем на 100%. В последующих работах было показано, что при величине местных напряжений больше теоретической прочности материала в очагах разрушения происходит разрушение и появляются трещины. Однако, в случае если локальные напряжения немного меньше, чем напряжения теоретической прочности, то в рассматриваемом статическом случае механическое разрушение не сможет развиваться, хотя энергетические условия позволяют это.

Как нам уже известно, различные оценки критериев соответствия энергетического и силового подходов, как правило, обладают методологическим недостатком, они рассматриваются в энергетическом и силовом состоянии в малой части области (атомных размеров), приписывая фактически окружающей среде свойства абсолютной жёсткости, и тогда соответствие критериев становится тривиальным, как это имело место при разрыве одиночной связи. Однако нельзя рассматривать твердое тело как абсолютно жестко-связанными образованиями. Поэтому проявляется интерес к простым модельным примерам, из которых была бы видна возможность расхождения обоих критериев при учёте состояния окрестности. В процессе разрыва одиночной связи и тела в целом окрестность очагов разрушения играет немаловажную роль.

Рассмотрим одномерную цепочку атомов с числом звеньев n на конце, который подаёт растягивающее усилие f . Концы цепочки будем считать фиксированными при этой нагрузке. В каждом выделенном звене напряженной цепочки сосредоточена упругая энергия

$$W_3 = \frac{D}{4} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{f}{F_m}}\right)^2 \quad (6)$$

Приблизительно в середине цепочки, выделяя одно из звеньев, рассматриваем происходящий в ней процесс. Отдавая свою энергию, окружение этой цепочки обеспечивает натяжение выделенного звена. Упругая энергия, запасенная в этой окрестности, будет равняться

$$W_{\text{окр}} = (n-1)W_3 = \frac{(n-1)D}{4} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{f}{F_m}}\right)^2 \quad (7)$$

Вместе с энергией выделенного звена, полная энергия цепочки составляет

$$W_{\text{п}} = W_{\text{окр}} + W_1 = \frac{nD}{4} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{f}{F_m}}\right)^2 \quad (8)$$

По Гриффиту, при выполнении условий $W_{\text{п}} \geq D$, когда величина упругой энергии всей цепочки заполняет или будет равняться энергии одной связи диссоциации, то в этом случае происходит разрушение. Видно, что разрыв цепочек энергетических критериев выполняется при «плотности» на связях упругой энергии, меньшей по отношению к энергии диссоциации, так как в каждой связи запасная энергия равна по величине

$$W_1(f) = \frac{D}{n} \quad (9)$$

По некоторым данным видно, что разрушение происходит при меньшей энергии диссоциации и эта энергия зависит только от числа звеньев n в цепочке, потому как D остаётся постоянным числом. Отсюда видно, что несомненное расхождение между энергетическим и силовым критериями разрушения связей возможны. Когда растягивающая сила ещё не в состоянии разорвать связи, тогда будет возможным энергетическое разрушение для достаточно длинных цепочек. Если выполняются условия $W_{\text{п}} = D$, сил безопасности можно определить по формуле

$$f_{\text{безоп}} = F_m \left[1 - \left(1 - \frac{2}{\sqrt{n}}\right)^2\right] \quad (10)$$

и при $n=10$ $f_{\text{безоп}} = 0,87F_m$, а при $n=100$ $f_{\text{безоп}} = 0,36F_m$.

Совершенно очевидно, что соблюдаются критерии энергии разрушения, хотя если $f < F$ и звено не разрывается, энергия в звеньях цепи, не транспортируясь к разрываемому звену, останется неиспользованной. Аналогичные ситуации вполне применимы к трещине Гриффита, окружённой растянутой областью. При доведения усилия на цепочке до F_m – теоретической прочности, как и раньше, зафиксируем концы цепочки. В случае разрушения идеальной однородной цепочки не образуется и все связи растянутся одинаково (на 20÷25%), сохраняется целостность цепочки, её способность к упругому сокращению.

В этом случае можно увидеть, что состояние доведённое до деформации, является неустойчивым. В данном изменении расстояния между атомами начнётся незначительная «перекачка» деформации энергии из окрестных звеньев, которая будет наращивать растяжение данного звена и может довести его до разрыва.

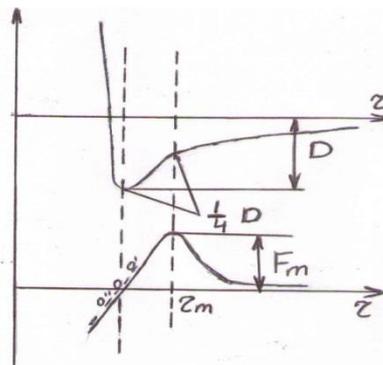


Рис.1 Потенциальная энергия и сила взаимодействия для атомов в двухатомной молекуле

Это произойдёт в силу отмеченной выше нелинейной «реверсивной» упругости межатомных связей, когда после перехода через максимум напряжения (F_m) в дальнейшем

растяжение начинает падать, (Рис. 1.) и причём падающее в других звеньях усилие, из которых каждое сокращается в n раз меньше, чем удлиняется данное звено, может оказаться достаточным для наращивания растяжения в выделенном звене. При выполнении условия $W_{\text{п}} > D$ можно достичь и разрыва связи.

Такие события могут возникать при выполнении условия $f < F_m$, если в силу случайных обстоятельств одно из звеньев будет растянуто с переходом через максимальное усилие и доведением растяжения связи до второй деформации, отвечающей данной силе. (Рис. 2).

Поэтому критерием разрыва связи или звена является уже известное условие подачи на это звено достаточно энергии и силы, что требует определённого состояния остальных звеньев цепочки.

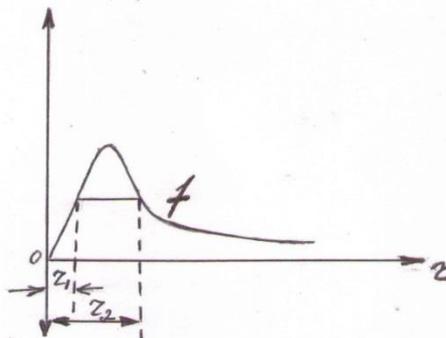


Рис.2 Действия растягивающей силы f меньше предела прочности связей F_m

Как видно, в силу неоднородности распределения внешней нагрузки по межатомным связям возникнет область, где незначительное изменение энергетического состояния приводит к разрыву межатомных связей и тело разрушается. Нетрудно обнаружить, что в реальных условиях причиной нарушения однородности может быть тепловое движение с присущими ему флуктуациями. В данном случае возможно только рассмотрение энергетического баланса разрывающей цепочки в общей форме, которая будет существенной для оценки устойчивости разрывов. И такой баланс характеризуется разностью между запасённой во всех напряжённых связях упругой энергией, необходимой для разрыва одной связи:

$$Q = \frac{nD}{4} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{f}{F_m}}\right)^2 - D \quad (11)$$

Как нам известно из работы (11), данное расхождение может быть положительным или отрицательным, когда разрушение подходит с выделением энергии – экзотермический процесс, а когда разрушение подходит с поглощением энергии – эндотермический процесс, что говорит о зависимости от уровня растягивающих усилий.

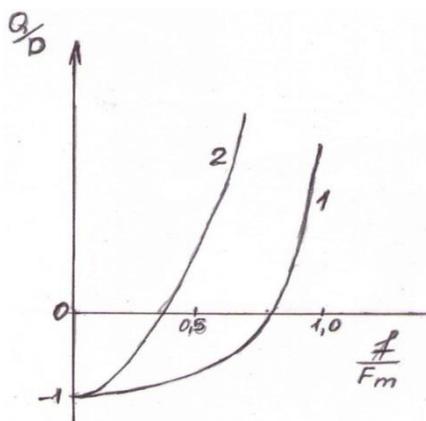


Рис.3 Силовая зависимость тепловыделения при разрыве цепочки атомов с различным числом звеньев. 1 – 10 звеньев; 2 – 100 звеньев.

На Рис. 3 для иллюстрации показаны две кривые зависимости тепловыделения при разрыве цепочек атомов с различным числом звеньев, характерных для цепочек длиной в 10 и в 100 звеньев.

По рисунку 3 можно обнаружить зависимость тепловыделения от внешней приложенной нагрузки, которая весьма разнообразна. Когда $f=0$ (внешняя нагрузка к цепочке не приложена) разрыв цепи происходит только в результате термической диссоциации по одной связи и при этом «тепловой» эффект отрицателен и равен $-D$ (рис.3). Когда цепь находится в нагруженном состоянии, тепловой эффект изменяется и при некоторых значениях внешних усилий он становится равным нулю. Данный случай соответствует гриффитовому энергетическому критерию разрушения. При увеличении внешней нагрузки тепловой эффект становится положительным в том случае, когда $f=F_m$ тепловыделения максимально в 24 раза превышает энергию разрыва одной связи для цепи из 100 связей.

Последняя полученная точка при выполнении условия $f=F_m$ удовлетворяет силовому критерию разрыва в чисто механическом понимании. Однако в других случаях тяговое усилие недостаточно для непосредственного разрыва цепи. Результат показывает, что в этих случаях между начальным (непрерывным) состоянием и конечным (прерванным) состоянием цепи должно быть промежуточное состояние с повышенной энергией. Для перевода заряженной цепи из включённого состояния в разомкнутое необходимо преодолеть энергетический барьер, необходимо пройти через промежуточное состояние с повышенной потенциальной энергией. В работе [9] условно показаны три области, соответствующие промежуточному и разорванному состояниям связанной цепочки атомов. Потенциальная энергия исходного состояния цепи меняется на величину запасённой упругой энергии $W=nW_1(f)$ (12).

Потенциальная энергия разорванной цепи (точки D) равна энергии разрыва связи, а упругая энергия равна нулю. Как показало исследование, проведённое в ходе данной работы, разряженные и заряженные токи находятся в разных энергетических состояниях. Однако, в ненагруженной цепи нет потенциального барьера между связанными и разорванными состояниями. В других случаях он имеется. Величина бокового барьера связанного состояния определяется вероятностью прерванного процесса, высота бокового барьера разорванного состояния определяется вероятностью процесса восстановления разорванной цепи.

Основываясь на этих представлениях, был произведён расчёт энергии активации разрушения и было получено следующие уравнение.

$$U(f) = \int_{r_1}^{r_2} [F(r) - f] dr = D \left[\sqrt{1 - \frac{f}{F_m}} - \frac{f}{2F_m} \ln \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{f}{F_m}}}{1 - \sqrt{1 - \frac{f}{F_m}}} \right] \quad (13)$$

График функции (13) приведён на рисунке 4.

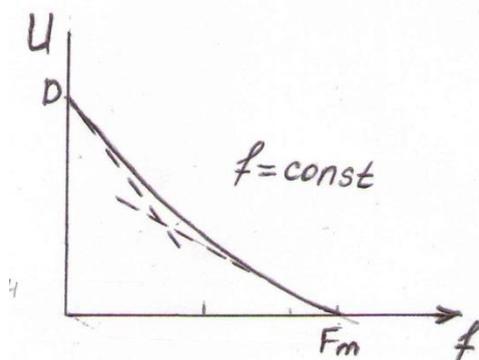


Рис.4 Силовая зависимость энергии активации разрыва межатомных связей

Как видно, график этой функции оказался нелинейным. Но для ограниченного интервала усилий эту функцию можно аппроксимировать прямым уравнением :

$$U(f) \approx U_0^1 - \gamma^1 f \quad (14)$$

Как видно из рисунка, для начального участка в области сравнительно малых усилий значение $U_0^1 = D$ для среднего или крайнего участка $U_0^1 < D$ (смотри рисунок).

Как показано в работе [8,9], распад напряжённой связи происходит следующим образом: работа выполняется тепловым движением молекул и атомов U (энергия тепловой флуктуации) и механическим воздействием $D-U$. Механическая работа состоит из трёх частей: 1. Работа, затрачиваемая на нагруженные образцы в начальный момент испытания, до значения энергии $W(r_1)$. 2. Работа, затрачиваемая на приращения расстояния между атомами $f(r_2-r_1)$, совершаемая одновременно с действием тепловой флуктуации (подъём на вершину барьера U), и 3), работа прерывания связи (перевод с вершины барьера в разорванное состояние), которая равна $\int_{r_1}^{\infty} F(r)dr$.

В статьях [9, 8, 10] рассматриваются вопросы, связанные с распадом связей, также показано, что разорванная связь создаёт взаимодействие с соседними атомами, и поэтому правильнее будет рассматривать распад линейной цепи как связь с ограниченным запасом энергии. В этом случае внешняя сила f будет уменьшаться при флуктуирующем удлинении распадающейся связи (остальные связи будут укорачиваться), так что положение неустойчивого расстояния сместится в сторону больших деформаций $r_{12} > r_{2,}$ высота энергетического барьера несколько увеличится, но, с другой стороны, у второго появится минимум потенциальной энергии, соответствующий состоянию обрыва цепи, рис. 5.

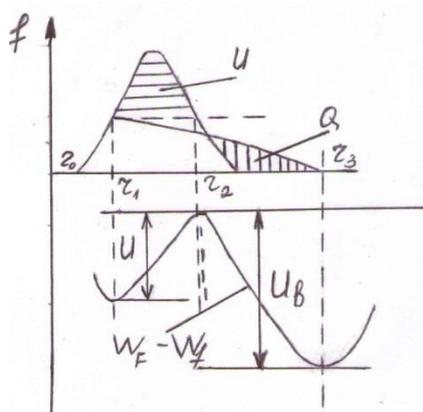


Рис.5. Изменения энергии активации разрыва межатомной связи при уменьшающемся значении растягивающей силы f .

В шестидесятых годов прошлого века Веттегрень [12,13,14,15] с сотрудниками, используя колебательную спектроскопию, обнаружил существование перенапряженных межатомных связей в нагруженных твердых телах, полимерах. Проводились наблюдения над изменением формы полосы поглощения нагруженных полимерных образцов, а именно деформация и смещение максимума полосы поглощения на длинноволновую сторону и на длинноволновое крыло появления низкочастотного максимума, отстоящее от основного на несколько десятков см^{-1} .

В оптической колебательной спектроскопии широко используется понятие осцилляторов. Предполагается, что с каждой моделью колебаний атомов в твёрдом теле может быть сопоставлен осциллятор, частота колебаний которого совпадает с частотой соответствующей модели. Опираясь на данное мнение, представление спектра атомных колебаний моделируется набором осцилляторов с разными частотами. Эти осцилляторы независимо взаимодействуют со светом. Каждому осциллятору соответствует элементарная полоса, имеющая симметричную форму дисперсии и максимум на частоте, равной частоте осциллятора. Данные элементарные полосы, накладываясь друг на друга, образуют суммарную полосу, ширина которой, как правило, больше, чем у элементарных полос, т.к. частоты одного и того же осциллятора несколько различаются в разных областях материала и варьируют со временем. Так как межатомные силы моды атомных колебаний изменяются нелинейно, то осцилляторы всё время обмениваются энергией и по этой причине амплитуда атомных колебаний испытывает биения – возгорается и затухает. Время, в течение которого амплитуда колебаний данной моды изменяется в кратный раз считается длительностью

кванта моды колебаний - фонона. Длительность фонона τ_{ph} для оптических колебаний составляет $\approx [10]^{-10}$ с. Осцилляторы, находящиеся в движении, успевают отреагировать на любое изменение межатомного расстояния за время $\tau_{(f\approx)} [10]^{-10}$ с. Анализируя форму полосы, можно получить информацию о распределении деформаций межатомных связей во времени $\Delta t \approx [10]^{-10}$ с. Для обнаружения возбуждённых межатомных связей анализировали форму полосы, имеющей вид спирали или плоского зигзага, длина которого составляет, по крайней мере, D. нм.

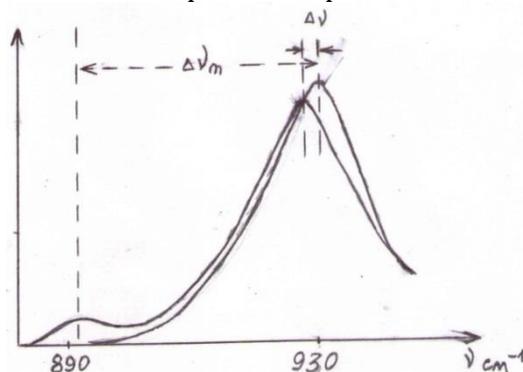


Рис.6. Форма полос поглощения капрона в области 930см^{-1} . 1.Однородная плёнка толщиной 16 мкм, 2. Образец, составленный из 16 микронных плёнок.

На рисунке 6 приведена полоса поглощения капрона в области 930 см^{-1} . Как видно из представленного рисунка, на длинноволновом крыле полос регулярности наблюдаются слабые полосы регулярности, частота которых смещена на несколько десятков см^{-1} . Известно, что с увеличением межатомных расстояний частота колебаний атомов уменьшается, поэтому считалось, что если в заряженном полимере существуют возбуждённые межатомные связи, то соответствующие им элементарные полосы будут попадать в длинноволновое крыло полосы. И поэтому слабые полосы поглощения наблюдаются на длинноволновом крыле, удалённом на несколько десятков см^{-1} от основного. Для капрона (поликапроамида) смещение низкочастотного максимума составляет около $\Delta\nu \approx 40\text{ см}^{-1}$.

Опираясь на двух подходах к деформации и разрушению твёрдых тел, силовом и термофлуктуационном, попытаемся выяснить причины образования возбуждённых связей.

Если считать, что появление возбуждённых связей в ненагруженном образце связано с предысториями образца в период изготовления, т.е. остаточными напряжениями следовало бы ожидать уменьшения интенсивности низкочастотного максимума при увеличении температуры. Однако в действительности наблюдается увеличение интенсивности низкочастотного максимума с увеличением температуры. Подобные изменения интенсивности указывают, что в образования низкочастотного максимума в исходном ненагруженном состоянии она неразрывно связана с температурой, тепловой флуктуацией.

Таким образом, в работе рассмотрены теоретические исследования по выяснению механизма деформирования и разрушения твёрдого тела, а также возникновения низкочастотного максимума в ненагруженных твёрдых телах, полимерах и сделаны следующие

ВЫВОДЫ:

1. При изучении одиночных связей не рассматриваются способы приложения растягивающих усилий и способы подвода энергии.
2. Выяснено, что для разрыва связи необходимо подвести энергию, равную энергии диссоциации связи D, а сила растяжения на связях должна достигать величины теоретической прочности связи F_m .
3. Рассчитанная энергия активации разрушения в случае огромного количества связи удовлетворяет уравнению (1).
4. Разрушение тела связывалось с энергетическим состоянием материала в окрестности трещины разрушения.

5. Оценка, произведённая по выражению для локального напряжения на контуре трещины и удельной поверхностной энергии на вершине трещины оказалась по величине порядка теоретической прочности материала.

6. Появления низкочастотного максимума в ненагруженных образцах неразрывно связаны с температурой, тепловой энергией в твёрдых телах.

7. Согласно фононной теории разрушения твёрдых тел, фононы, двигаясь в теле, не могут преодолевать некоторые образования, размеры которых больше, чем длина свободного пробега фонона.

8. Фононы, застревая в образованиях, приводят к нагреванию и образованию очагов разрушения, к появлению низкочастотного максимума, а также на спектре поглощения.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. E. Poncelet, Metal Technology, T.P, №1684, 1944, p. 1.
2. A.I. Gubanov, A.D. Chevychelov, FTT 4, 928, 1962.
3. A.D. Chevychelov, FTT 5, 1394, 1963.
4. W. Kauzmann, H. Eyring. J. Amer. Chem. Soc. 62, 3113, (1940).
5. A.N. Orlov, Yu.M. Pilishkin, M.M. Shepeleva, FMM, 4, 540, 1957.
6. Frenkel Ya.I., Introduction to the theory of metals, Fizmatgiz, 1958, 227 c.
7. E.E. Tomashevsky, FTT, 12, 3202, 1970.
8. A.A. Griffith. Phil.Trans.Roy. Soc. 221A, 163 (1921).
9. E.A. Egorov, O.D. Dmitrievsky., A.Ja. Savostin., E.T. Tomashevsky. Intern. Symp. On macromolecules, Helsinki, Finland, 1972.
10. Yu.M. Plishkin, Proceedings of the Institute of Physics of Metals, vol. 22, 1959. -P. 13.
11. A.N. Orlov, Yu.M. Plishkin, M.M. Shepeleva, FMM 4, 540 1957.
12. E.E. Tomashevsky, FTT 12, 3202 (1970).
13. Vettegren V.I., Novak I.I., Tokhmetova K.T., Poretsky S.A., L. FTI AS USS, 1988. - P.78 – 87.
14. Vettegren V.I., Titenkov L.S., Jalilov F., L., FTI AN. USSR, 1983. - P.86.
15. Vettegren V.I., Kovalev I.M., Lazarev S.O., Navy, 1988, – 574 p.
16. Elyashevich M.A. Atomic and molecular Spectroscopy. M., GIFML, 1962. – 892 p.