

УДК 541(64+18)

**СОВРЕМЕННОЕ ВОЗЗРЕНИЕ НА ПРИРОДУ АДГЕЗИОННОЙ  
ПРОЧНОСТИ**

*Басин В. Е.*

**Обзор**

Межфазные молекулярные связи, возникающие в адгезионных соединениях в зоне контакта разнородных материалов, оказывают на величину адгезионной прочности не только прямое, но и косвенное влияние, обусловленное, во-первых, тем, что молекулярные силы в зоне контакта полимера с подложкой преобразуют структуру прилегающего слоя полимера, что, в свою очередь, оказывает влияние на локализацию напряжений и механизм развития микродефектов; во-вторых, тем, что компоненты адгезионного соединения при совместной работе проявляют механические свойства, отличные от свойств при их раздельном деформировании; в-третьих, межфазные молекулярные силы оказывают влияние на кинетику релаксационных процессов и, следовательно, уровень внутренних напряжений. Таким образом, межфазные молекулярные силы оказывают влияние на величину адгезионной прочности не только при адгезионном характере разрушения, «управляя на расстоянии» микромеханикой разрушения.

В настоящее время целесообразно различать [1–5] по крайней мере два аспекта явления, обозначаемого термином «адгезия». Один из них относится к процессам сближения разнородных тел и установления между ними специфических — адгезионных связей. Этот аспект явления будем обозначать термином «существенно адгезия». Другой аспект проблемы связан с количественной мерой интенсивности сцепления, измеряемого удельной силой или удельной работой разрушения, и будет обозначаться термином «адгезионная прочность».

За период, прошедший с конца 40-х годов, когда появились систематические работы в области адгезии полимеров, было выдвинуто более десяти теорий: адсорбционная, электрическая, электронная, диффузионная, электрорелаксационная, микрореологическая, реологическая, молекулярно-кинетическая и некоторые другие [4–19]. Тем не менее следует признать, что механизм адгезионной прочности изучен недостаточно: во всяком случае, представления об этой характеристики развиты значительно слабее, чем представления о прочности твердых тел. Это обстоятельство связано, очевидно, со значительно большим разнообразием факторов, влияющих на адгезионную прочность, чем на прочность простых твердых тел.

Настоящая работа представляет собой попытку обобщения и анализа современного состояния вопроса в области адгезионной прочности — одной из важнейших характеристик адгезионных соединений.

**Собственно адгезия и ее влияние на адгезионную прочность.** Развитие представлений об адгезии полимеров неоднократно сопровождалось дискуссиями, в которых поднимались вопросы о характере сил, обеспечивающих сцепление приведенных в контакт разнообразных тел. При этом некоторые авторы отрицали решающую роль молекулярных сил, противопоставляя

им другие факторы. В наиболее категоричной форме отрицание роли молекулярных сил в адгезии сформулировано в работах [17]. Эта точка зрения сводится к тому, что прочность адгезионного соединения не отражает величину истинной адгезии, и что представления о решающем влиянии молекулярных сил бессмысленны. Сформулированные положения базируются на мнении, что разрушение адгезионного соединения по границе раздела фаз невозможно [17]. Согласно работам [17], вероятность продвижения трещины точно по межфазной поверхности ничтожна, поскольку все направления (граница раздела и массивы фаз) равнозначны. Между тем, рассматривая вероятное направление продвижения микродефекта, необходимо учитывать цепное строение макромолекул. Продвижение микродефекта в массив полимера в большинстве случаев сопряжено с разрывом химических связей. Развитие же микродефектов по межфазной поверхности, если она не пронизана химическими связями, не требует их разрыва. Следует также иметь в виду, что при нагружении адгезионного соединения из-за различия упругих констант материалов в зоне их контакта происходит концентрация напряжений. Это обстоятельство дополнитель но повышает вероятность разрушения соединения (или возникновения микродефекта) на межфазной поверхности. Следует, кроме того, отметить, что на адгезионное соединение действуют не только механические нагрузки, но и влага, различные химические агенты, повышенная температура и др. Связи адгезива с подложкой могут оказаться менее устойчивы к действию перечисленных факторов, чем связи в объеме фаз, определяющие их когезионную прочность. Наконец, на границе раздела фаз в адгезионном соединении могут скапливаться низкомолекулярные вещества, обладающие поверхностной активностью и создающие ослабленную зону. В результате действия перечисленных факторов вероятность разрыва адгезионного соединения по поверхности раздела во много раз выше, чем это оценено в работах [17].

В настоящее время положения, развитые в работах [17], оспариваются многими авторами [5, 13, 14, 20–22]. Однако, несмотря на то, что решающее влияние межфазных молекулярных сил на адгезионную прочность представляется вполне закономерным, выявление количественного вклада молекулярных сил в величину адгезионной прочности — очень сложная задача. Энергия разрушения адгезионного соединения расходуется не только на разрыв межфазных связей, но и на деформацию компонентов адгезионного соединения, предшествующую разрушению и сопровождающую его. Представления о вкладе работы деформации в общий баланс работы разрушения адгезионного соединения были сформулированы в работе [10] и в настоящее время разделяются многими исследователями [2, 5, 12–14, 23–26].

Работа деформации зависит от деформационных свойств компонентов, формы и размеров адгезионного соединения, методов испытания, т. е. факторов, не определяющих непосредственно величину адгезии. Отделить энергию, необходимую для разрушения межфазных связей, от работы деформации весьма сложно. В настоящее время можно говорить только об относительной оценке вклада молекулярных сил, «визуализации» их влияния на величину адгезионной прочности.

Например, накоплен обширный опыт воздействия на величину адгезионной прочности путем изменения содержания в полимере активных функциональных групп, применения специальных добавок, а также путем химической модификации поверхности соединяемых материалов [5, 27, 28]. Известны многочисленные способы воздействия на адгезионную прочность с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ). Так, в работе [29] показано, что введение в эпоксидную смолу ПАВ оказывает влияние на угол смачивания смолой подложек, поверхностное натяжение смолы и величину адгезионной прочности, причем работа адгезии, рассчитанная по термодинамическим параметрам, коррелирует с адгезионной прочностью,

измеренной методом нормального отрыва, и в зависимости от дозировки ПАВ эти параметры изменяются симбатно.

Один из достаточно убедительных и наглядных способов визуализации влияния собственно адгезии на величину адгезионной прочности был реализован нами [30, 31] путем изменения поверхностного натяжения подложки при ее деформации. В работах [32, 33] показано, что деформация полимера повышает его поверхностное натяжение. Измерение поверхностного натяжения полимерной подложки должно оказать влияние на кинетику процесса ее смачивания. Это обстоятельство, а также изменение соотношений поверхностных натяжений адгезива и подложки должны оказать

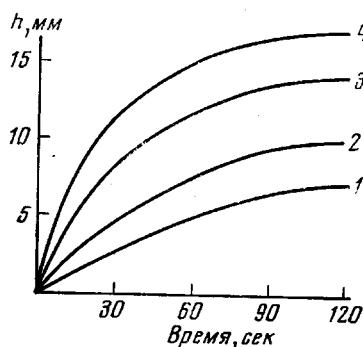


Рис. 1

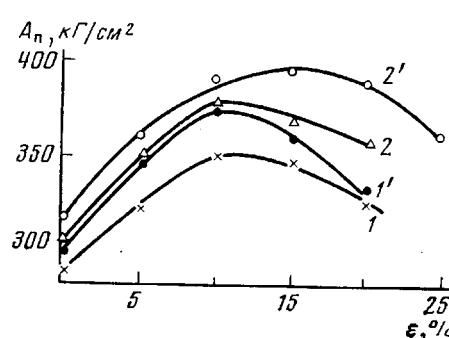


Рис. 2

Рис. 1. Изотермы капиллярного поднятия воды  $h$  в вертикальном зазоре цилиндрических образцов с покрытием на основе полизэфира, деформированных на 0 (1), 5 (2), 19 (3) и 31% (4)

Рис. 2. Зависимость адгезионной прочности  $A_n$  в системе полимер – полимер от деформации подложек  $\varepsilon$  на основе полизэфира (1, 1') и полизэфиримида (2, 2') в сочетании с полизэфирно-эпоксидным составом (1 и 2), алкидномеламиновым (1') и полизэфир-циануратным (2')

влияние на качество молекулярного контакта и энергию адгезии и, следовательно, на величину адгезионной прочности. Экспериментальные данные подтверждают эти соображения.

Как следует из приведенных на рис. 1 изотерм, на высоту поднятия жидкости в вертикальном зазоре между цилиндрическими образцами, а также скорость этого процесса оказывает существенное влияние предварительная деформация данных образцов. Высота поднятия жидкости в зазорах подобного типа [35], так же как и в капиллярах, зависит от свойств жидкости (ее поверхностного натяжения и плотности), геометрических параметров образцов, а также от угла смачивания. Различия в кинетике процесса, а также в значениях равновесных величин высот капиллярного поднятия, наблюдаваемые экспериментально (рис. 1), вызваны изменением поверхностного натяжения полимера при деформации. Естественно, что изменение поверхностного натяжения сопровождается изменением адгезионной прочности (рис. 2). Как следует из полученных данных, деформация подложек различной химической природы [34, 37] оказывает существенное влияние на величину адгезионной прочности. Это обстоятельство служит достаточно убедительным доказательством зависимости адгезионной прочности  $A_n$  от собственно адгезии.

Нужно отметить, что в последние годы значительно возрос интерес к рассмотрению системы полимер – подложка с термодинамических позиций. Прогресс в этой области стимулировался успехами в измерении термодинамических характеристик поверхности полимеров, что связано с работами Зисмана, Илтона, Ву, Фоукса, Гуда, Липатова и других исследователей [29, 38–45]. Расчетные значения энергии адгезии, полученные из тер-

модинамических параметров, могут быть сопоставлены с экспериментальными данными [23, 46, 47].

Величина адгезионной прочности должна определяться не только энергией и концентрацией межфазных связей, но и полнотой молекулярного контакта [36]. Установление молекулярного контакта в случае вязкопластичных материалов сопровождается реологическими, а в некоторых случаях и диффузионными процессами. В связи с этим важную роль приобретают температура формирования адгезионного соединения, продолжительность процесса, давление. Влияние этих факторов на величину адгезионной прочности рассматривается в рамках диффузионной и микрореологической концепций развития молекулярных контактов [8, 12–14, 36]. Применив моделирование процесса затекания расплава полимера в неровности поверхности подложки, удалось установить [14] зависимость глубины затекания  $l$  расплава в капилляр от давления  $p$ , вязкости расплава  $\eta$  и продолжительности процесса  $t$ . Доказав же симбатность кривых  $l = \sqrt{pt}/\eta$  и  $A_n = f(\sqrt{pt}/\eta)$ , Гуль с сотрудниками однозначно установили, что в рассматриваемых ими системах (расплав полимера — твердое тело или полимер в застеклованном состоянии) имеет место микрореологический механизм развития истинной поверхности контакта.

Перечисленные выше вопросы не исчерпывают всего многообразия проблем собственно адгезии и ее влияния на адгезионную прочность. Решающее влияние молекулярных сил на величину адгезионной прочности вызывает необходимость углубления представлений о характере взаимодействия полимеров с твердой поверхностью. В частности, при контакте полимеров с различными субстратами, например металлами, необходимо учитывать возможность катализитических реакций, сопровождаемых появлением ненасыщенных связей и функциональных групп, способных затем вступать во взаимодействие с поверхностью субстрата [5, 48–53]. Принципиально новые способы воздействия на адгезию в системе полимер — металл основаны на введении в полимер микродобавок полисопряженных систем [54, 55], а также применении стабильных радикалов [56].

Для адгезионных соединений, работающих в динамических режимах нагружения, важно сочетание в зоне контакта компонентов прочных химических связей с менее прочными, но лабильными, легко регенерируемыми молекулярными связями [3, стр. 316; 57].

В работе [58] показано наличие взаимного влияния субстратов на их взаимодействие с адгезивом, что обусловлено соотношением скоростей адгезионных процессов в различных зонах контакта.

Итак, влияние межфазных молекулярных сил на величину адгезионной прочности доказано достаточно убедительно, особенно в тех случаях, когда измерение адгезионной прочности сопровождается разрушением соединения по границе раздела фаз. Однако помимо такого прямого влияния собственно адгезии на адгезионную прочность имеются и косвенные формы влияния. Благодаря им межфазные молекулярные силы могут оказывать влияние на величину адгезионной прочности не только при адгезионном характере разрушения. Дело в том, что под действием межфазных сил компоненты адгезионного соединения изменяют свои свойства.

Рассмотрим эти вопросы более подробно.

**Особенности структуры и свойств компонентов в адгезионном соединении.** Если адгезионные соединения, представляющие собой сочетание одного и того же полимера с различными подложками, разрушаются по слою полимера, то тип подложки не должен был бы оказывать влияния на величину адгезионной прочности (при условии, что различие в подложках не оказывает существенного влияния на величину деформационной слагающей). Однако в действительности можно наблюдать в подобных случаях различия в адгезионной прочности. Например, в системе металл — сополимер тетрафторэтилена с гексафторпропиленом (фторлоном) адгезионное соединение разрушается в зоне контакта по когезионному механизму — на

металле остается тончайшая пленка полимера [59]. Адгезионная прочность зависит от типа подложки и возрастает в ряду  $\text{Ag} < \text{Cu} < \text{Ni} < \text{Fe} < \text{Cr}$ . Прочность пленок фторлона возрастает в такой же последовательности и при этом изменяется симбатно изменению поверхностного натяжения подложки (рис. 3). Это обстоятельство связано с возникновением у полимера в зоне контакта с подложкой модифицированного слоя [59, 60]. Возникновение модифицированных слоев, широко изучаемое в последнее время [61–70], обусловлено влиянием молекулярных межфазных сил. Интенсивность такого влияния некоторые авторы связывают с уровнем поверхностного натяжения твердой поверхности [71, 72]. Наличие у полимера, примыкающего к поверхности твердого тела, и, в частности у адгезива в контакте с подложкой, модифицированного слоя, отличающегося по структуре и свойствам от остального массива, оказывает влияние на деформацию полимера при разрушении адгезионного соединения, характер развития трещин и тем самым на величину адгезионной прочности. Так, наличие в пленке адгезива фторлона хорошо выраженного модифицированного слоя «столбчатой» структуры в зоне контакта с металлом способствует получению более высокой адгезионной прочности, чем при отсутствии такого слоя (в зоне контакта с полимиидом) [59, 60]. Разрывная прочность материала и структурно-чувствительный параметр в уравнении долговечности обратно пропорциональны [73]. Следовательно, один из важнейших параметров когезионной прочности материалов в адгезионных соединениях зависит от типа подложки, ее поверхностной энергии, степени воздействия на структуру полимера. Итак, молекулярные силы в зоне контакта полимера с подложкой преобразуют прилегающий слой полимера и тем самым оказывают хотя и косвенное, но весьма существенное влияние на величину адгезионной прочности.

Особенности свойств полимера в контакте с подложкой характеризуются не только наличием модифицированного слоя. Полимер, связанный с подложкой молекулярными силами, проявляет необычные механические свойства. В работах Гуля с сотр. [77–81] был обнаружен эффект резкого повышения разрывного удлинения комбинированного пленочного полимерного материала. Этот эффект авторы объяснили блокировкой опасных дефектов одного слоя бездефектными участками второго слоя, приводящей к синхронной работе компонентов адгезионного соединения и перераспределению напряжений. В результате комбинированный материал приобретает способность к повышенной деформации и упрочняется. Необходимо отметить, что коэффициент упрочнения комбинированных материалов возрастает с повышением адгезионной прочности. Влияние адгезионной прочности на когезионную прочность композиционных материалов, по-видимому, впервые доказали Гуль с сотр. [74].

В наших работах [82–84] было установлено, что жесткие пространственно-сплошные полимеры в адгезионных соединениях приобретают способность к деформации в режиме вынужденной эластичности (в свободном состоянии вынужденная эластичность у данных полимеров отсутствует). Интенсивность такого процесса вынужденной высокозластической деформации, измеряемая величиной задержанной усадки полимера после совместной деформации с подложкой, коррелирует с величиной адгезионной прочности (рис. 4). Деформация жестких пространственно-сплошных поли-

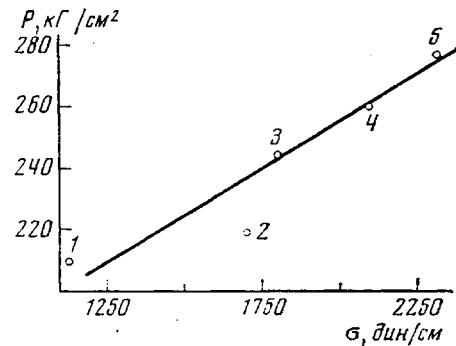


Рис. 3. Зависимость прочности пленок (сопротивление разрыву  $P$ ) фторлона от поверхностного натяжения подложки σ: 1 – Ag, 2 – Cu, 3 – Ni, 4 – Fe, 5 – Cr

меров в режиме вынужденной эластичности приводит в ряде случаев к их упрочнению [82–84], причем эффект упрочнения определяется в данном случае не только особенностями структуры полимера, но и уровнем адгезионной прочности [84].

Не только полимер, но и другой компонент адгезионного соединения при совместной работе ведет себя не так, как в свободном состоянии. В частности, было обнаружено, что деформируемость металлической подложки в адгезионном соединении, а также ее стойкость к циклическим деформациям существенно выше, чем в свободном состоянии [59, 85, 86]. Одно из объяснений этого эффекта основано на представлениях о подвижности поверхностных дислокаций в металлах [87–89]. Достаточно прочно адсор-

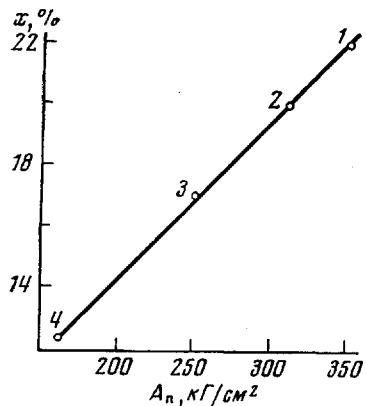


Рис. 4

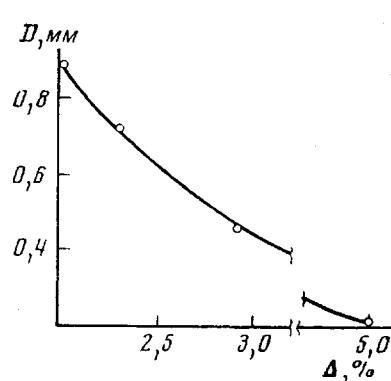


Рис. 5

Рис. 4. Зависимость задержанной усадки  $x$  в пленках полизэфира (1), полизифиримида (2), поливинилацетала (3) и полииимида (4), растянутых совместно с подложкой на 25%, от величины адгезионной прочности

Рис. 5. Зависимость прироста разрывного удлинения  $\Delta$  медной проволоки с пленкой поливинилацетала от диаметра проволоки  $D$

бированные на поверхности твердого тела слои, лишенные миграционной подвижности, могут оказывать на механические свойства твердого тела действие, обратное пластифицирующему эффекту, облегчающему деформацию (эффекту Ребиндера). Влияние полимера на деформационно-прочностные свойства металлической подложки должно возрастать с ростом удельной поверхности образцов — уменьшением площади их сечения. Приведенные на рис. 5 данные подтверждают это соображение. Кроме того, интенсивность упрочняющего эффекта должна зависеть от энергии адгезионного взаимодействия полимера с поверхностью. В общем случае характер подобной зависимости может быть немонотонным: влияние взаимодействия полимера с подложкой на механические свойства подложки с ростом адгезионной прочности должно исчерпываться, что и было обнаружено экспериментально [59, 85, 86].

Приведенные выше данные об особенностях деформационно-прочностных свойств компонентов адгезионных соединений особенно важны для выяснения механизма работы этих соединений в экстремальных условиях, например при кратковременном действии «запредельных» нагрузок. Очевидно, эти эффекты должны быть учтены и в уравнениях долговечности, а также в уравнениях, описывающих кинетику роста микродефектов.

Изучение механизма совместной работы компонентов адгезионных соединений самым непосредственным образом связано и с практическими вопросами. Выигрыш в значениях деформируемости, а также в прочности при совместной работе полимеров в адгезионных соединениях представля-

ет практический интерес. Выяснение факторов, влияющих на эти показатели, способствует расширению ассортимента применяемых полимеров, выбору более рациональных режимов технологических процессов.

Еще одна форма косвенного влияния межфазных молекулярных связей на величину адгезионной прочности связана с релаксационными процессами и действием внутренних напряжений. Увеличение энергии межфазных связей замедляет релаксационные процессы и может привести к росту внутренних напряжений [90]. Поэтому блокировка части активных групп поверхности создает более благоприятные условия для протекания релаксационных процессов и тем самым способствует росту адгезионной прочности [91]. Возрастание скорости релаксационных процессов и повышение за счет этого адгезионной прочности достигают за счет применения ПАВ [92], оптимального сочетания прочных химических связей с лабильными, менее прочными межмолекулярными связями [93].

Итак, адгезию следует рассматривать как молекулярную связь приведенных в контакт разнородных материалов. В зависимости от природы соединяемых материалов возможен широкий спектр межфазных связей — от вандерваальсовых до химических. Энергия межфазных связей, возникших между компонентами адгезионного соединения, является, несомненно, одним из основных параметров, определяющих долговечность адгезионного соединения, к которой с полным основанием применим термофлуктуационный подход, развитый в работах Г. М. Бартенева, В. Е. Гуля, С. Н. Журковой, В. Р. Регеля [3, 73, 76]. Зависимость характеристик прочности адгезионного соединения может быть описана выражениями, аналогичными выражениям для когезионной прочности [3, 5, 14, 75].

Разрушение адгезионного соединения, как и любого твердого тела, имеет локальный характер, обусловленный неравномерностью загрузки связей. Локальный характер разрушения проявляется через механизм возникновения субмикро- и микродефектов. На развитие дефектов в зоне контакта между компонентами адгезионного соединения оказывают влияние такие факторы, как: 1) наличие пустот (следствие неполного контакта адгезива и подложки); 2) присутствие посторонних примесей, действующих как ПАВ; 3) гетерогенность структуры полимера, обусловленная контактом с подложкой (например, наличие модифицированного слоя); 4) особенности деформации полимера совместно с подложкой; 5) концентрация напряжений, обусловленная различием упругих констант материалов и релаксационными процессами. Большинство перечисленных факторов обусловлено присутствием в адгезионных соединениях границы раздела фаз. Молекулярные силы, действующие на этой границе, определяют не только энергию активации процесса разрушения, но и оказывают влияние на структурно-деформационные и релаксационные свойства прилегающих слоев, т. е. приводят к объемным эффектам. Таким образом, молекулярные межфазные силы в адгезионных соединениях управляют на расстоянии микромеханикой разрушения соединения. В этом, по нашему мнению, заключается одна из специфических особенностей адгезионной прочности.

Таким образом, роль межфазных связей в адгезионных соединениях и их влияние на свойства адгезионных соединений весьма многогранны. Углубление этих представлений будет, несомненно, способствовать решению проблем управления адгезионной прочностью.

#### Литература

1. Yu. S. Lipatov, A. E. Feinerman, J. Adhesion, 5, 3, 1973.
2. А. А. Берлин, В. Е. Басин, Основы адгезии полимеров, «Химия», 1969, стр. 329.
3. В. Е. Гуль, Структура и прочность полимеров, «Химия», 1971, стр. 344.
4. Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, В. П. Смилга, Адгезия твердых тел, «Наука», 1973, стр. 280.
5. А. А. Берлин, В. Е. Басин, Основы адгезии полимеров, «Химия», 1974, стр. 392.
6. A. D. McLaren, J. Polymer Sci., 3, 652, 1948.
7. Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Адгезия, Изд-во АН СССР, 1949, стр. 244.

8. С. С. Воюцкий, Аутогезия и адгезия полимеров, Ростехиздат, 1960, стр. 244; Сб. Гетерогенные полимерные материалы, «Наукова думка», 1973, стр. 3.
9. Б. В. Дерягин, В. П. Смилга, Сб. Адгезия и прочность адгезионных соединений, МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1968, № 1, 17.
10. Н. И. Москвитин, Исследование процессов прилипания и склеивания, Докторская диссертация, Москва, ИФХ АН СССР, 1951; Склейивание полимеров, «Лесная пром-сть», 1967, стр. 304.
11. Л. Н. Sharpe, H. Schonhorn, In «Contact Angle, Wettability and Adhesion», Adv. in Chem. Ser., Washington, 1964, N 43, p. 189.
12. В. Е. Гуль, Л. Л. Кудряшова, Сб. Адгезия полимеров, Изд-во АН СССР, 1963, стр. 134.
13. В. Е. Гуль, С. В. Генель, Сб. Адгезия и прочность адгезионных соединений, МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1968, № 1, 30.
14. В. Е. Гуль, С. В. Генель, Л. Л. Фомина, Механика полимеров, 1970, 203.
15. В. В. Лаврентьев, Л. Ф. Плиско, В. Л. Вакула, В. Д. Садов, Докл. АН СССР, 205, 632, 1972.
16. Л. Ф. Плиско, К. К. Острейко, В. В. Лаврентьев, В. Л. Вакула, С. С. Воюцкий, Высокомолек. соед., A15, 2579, 1973.
17. J. J. Bikerman, The Science of Adhesive Joints, New York — London, 1968; Успехи химии, 41, 1431, 1972; Высокомолек. соед., A10, 974, 1968.
18. D. H. Kaelble, Physical Chemistry of Adhesion, N. Y., 1971, p. 507.
19. Ю. С. Липатов, Сб. Композиционные полимерные материалы, «Наукова думка», 1975, стр. 4.
20. W. C. Tanner, J. Polymer Sci., Appl. Polymer Symposia, 1972, N 19, 1.
21. В. Е. Басин, А. А. Берлин, Механика полимеров, 1972, 295.
22. R. J. Good, J. Adhesion, 4, 133, 1972.
23. E. H. Andrews, A. J. Kinloch, Proc. Roy. Soc., London, A332, 385, 401, 1973; J. Polymer Sci., Polymer Phys. Ed., 11, 269, 1973; J. Appl. Polymer Sci., Polymer Symposia, 1974, N 49, 1.
24. A. N. Gent, A. J. Kinloch, J. Polymer Sci., 9, A-2, 659, 1971.
25. K. Kendall, J. Adhesion, 5, 179, 1973.
26. A. Ahagon, A. N. Gent, J. Polymer Sci., Polymer Phys. Ed., 13, 1285, 1975.
27. A. F. Lewis, J. Forrestal, In Recent Development of Adhesion Science, Philadelphia, 1963, p. 59.
28. В. Я. Кабанов, В. И. Спицын, Докл. АН СССР, 210, 650, 1973.
29. Ю. С. Липатов, В. И. Мышико, Высокомолек. соед., A16, 1148, 1974.
30. В. Е. Басин, А. А. Берлин, Сб. Новые клеи и технология склеивания, МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1973, стр. 7.
31. В. Е. Басин, Г. И. Артемова, Е. А. Хомякова, Сб. Новые клеи и технология склеивания, МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1976, стр. 13.
32. Г. М. Бартенев, Л. А. Акопян, Высокомолек. соед., B12, 395, 1970; В кн. Макромолекулы на границе раздела фаз, «Наукова думка», 1971, стр. 39.
33. R. J. Good, J. A. Kvistad, W. O. Bailey, J. Appl. Polymer Sci., Polymer Symposia, 1971, N 16, 153.
34. И. Майофис, Основы химии диэлектриков, «Высшая школа», 1970, стр. 332.
35. H. M. Princen, J. Colloid. Interface Sci., 30, 69, 1969.
36. В. Е. Гуль, Л. А. Вахрушева, Н. М. Дворецкая, Высокомолек. соед., A18, 122, 1976.
37. Справочник по электротехническим материалам, под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева, т. 1, «Энергия», 1975, стр. 584.
38. H. W. Fox, W. A. Zisman, J. Colloid. Sci., 5, 514, 1950; 7, 428, 1952.
39. W. A. Zisman, In Contact Angle, Wettability and Adhesion, Adv. in Chem. Ser., Washington, 1964, N 43, p. 1.
40. L. A. Girifalco, R. J. Good, J. Phys. Chem., 61, 904, 1957; 64, 561, 1961.
41. R. J. Good, L. A. Girifalco, G. Kraus, J. Phys. Chem., 62, 1482, 1958.
42. F. M. Fowkes, J. Phys. Chem., 66, 382, 1962.
43. S. J. Wu, J. Polymer Sci., C 34, 19, 1971.
44. G. A. H. Elton, J. Chem. Phys., 19, 1066, 1951.
45. Contact Angle, Wettability and Adhesion, Adv. in Chem. Ser., Washington, 1964, N 43.
46. J. Schultz, A. N. Gent, J. chim. phys. et phys.-chim. biol., 70, 708, 1973.
47. J. Schultz, Rev. gen. caoutchouc, 50, 1013, 1973.
48. Л. Б. Косарская, А. Т. Санжаровский, Пласт. массы, 1971, № 8, 37.
49. М. М. Калнинь, Ф. В. Рекнере, Л. Я. Малерс, П. К. Рейхманис, Ю. Я. Малерс, Сб. Композиционные полимерные материалы и их применение, Гомель, 1972, № 1, 88.
50. М. М. Калнинь, Е. О. Метнице, В. П. Карливан, Высокомолек. соед., A13, 38, 1971.
51. Н. И. Егоренков, Д. Г. Лин, К. С. Азбукин, Сб. Композиционные полимерные материалы и их применение, Гомель, 1972, № 1, 106.
52. Н. И. Егоренков, Д. Г. Лин, В. А. Белый, Докл. АН СССР, 210, 1148, 1973.
53. Н. И. Егоренков, Д. Г. Лин, А. И. Кузавков, Высокомолек. соед., A17, 1858, 1975.

54. А. А. Берлин, В. Е. Басин, М. Г. Черкашин, М. Г. Чусер, В. А. Григоровская, Механика полимеров, 1973, 365.
55. В. Е. Басин, В. А. Григоровская, Е. А. Хомякова, Л. М. Корсунский, А. А. Берлин, Пласт. массы, 1976, № 3, 31.
56. Л. М. Притыкин, М. Г. Драновский, Сб. Адгезия полимеров и адгезионные соединения в машиностроении, Калинин, 1976, стр. 55.
57. И. Л. Шмурак, М. Г. Лебедева, Р. В. Узина, Высокомолек. соед., А12, 2548, 1970.
58. Г. С. Полльман, Л. В. Гинзбург, Высокомолек. соед., Б18, 319, 1976.
59. И. Б. Райсин, Кандидатская диссертация, Москва, НИИФХИ им. Л. Я. Карпова, 1975.
60. И. Б. Райсин, В. Е. Басин, Т. С. Бебчук, М. И. Чернышова, Сб. Композиционные полимерные материалы и их применение, Гомель, 1972, № 1, 83.
61. В. А. Каргин, Успехи химии, 35, 1006, 1966.
62. Т. И. Соголова, Сб. Успехи химии и физики полимеров, «Химия», 1970, стр. 232.
63. Ю. М. Малинский, Успехи химии, 39, 1511, 1970.
64. Ю. С. Липатов, Физико-химия наполненных полимеров, «Наукова думка», 1967, стр. 234; Высокомолек. соед., А17, 2358, 1975.
65. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Т. К. Шапошникова, Докл. АН СССР, 130, 901, 1968.
66. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Т. К. Шапошникова, Н. И. Коршунова, Высокомолек. соед., А12, 649, 1970; Докл. АН СССР, 188, 1343, 1969.
67. А. П. Макушкин, Высокомолек. соед., Б13, 638, 1971.
68. В. А. Белый, Д. А. Родченко, Лакокрасочные материалы и их применение, 1971, № 2, 31.
69. D. R. Fitchett, E. Neuman, J. Polymer Sci., 8, A-2, 1545, 1970.
70. T. K. Kwei, H. Schonhorn, H. L. Frisch, J. Appl. Phys., 38, 512, 1967.
71. Ю. М. Малинский, М. Г. Арешидзе, Н. Ф. Бакеев, Докл. АН СССР, 208, 1142, 1973.
72. Ю. М. Малинский, Н. М. Титова, М. Г. Арешидзе, Высокомолек. соед., Б14, 485, 1972.
73. В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский, Кинетическая природа прочности твердых тел, «Наука», 1974, стр. 560.
74. В. Е. Гуль, Е. Э. Зaborовская, Э. П. Донцова, Б. Г. Бубнова, Высокомолек. соед., 5, 269, 1963.
75. А. С. Фрейдин, Прочность и долговечность kleевых соединений, «Химия», 1971, стр. 256.
76. Г. М. Бартенев, Ю. С. Зуев, Прочность и разрушение высокомодульных материалов, «Химия», 1964, стр. 388.
77. В. Е. Гуль, Н. М. Дворецкая, В. Г. Раевский, Механика полимеров, 1966, 625; 1967, 89.
78. В. Е. Гуль, Н. М. Дворецкая, Г. Г. Попова, В. Г. Раевский, Докл. АН СССР, 172, 637, 1967.
79. В. Е. Гуль, Механика полимеров, 1968, 473.
80. В. Е. Гуль, Н. М. Дворецкая, Т. А. Иваненко, В. А. Маркина, Р. А. Ерохина, Механика полимеров, 1974, 1134.
81. Н. М. Дворецкая, В. А. Маркина, Ю. Т. Кислов, Р. А. Ерохина, Т. В. Шамраевская, В. Е. Гуль, Высокомолек. соед., А18, 1128, 1976.
82. В. Е. Басин, Механика полимеров, 1971, 731; Лакокрасочные материалы и их применение, 1976, № 1, 41.
83. В. Е. Басин, Г. И. Артемова, Т. Н. Андреева, Сб. Композиционные полимерные материалы и их применение, Гомель, 1972, № 1, 80; Механика полимеров, 1973, 526.
84. В. Е. Басин, Г. И. Артемова, Сб. Адгезия полимеров и адгезионные соединения в машиностроении, Калинин, 1976, стр. 80.
85. И. Б. Райсин, В. Е. Басин, Электротехническая пром-сть, серия Электротехнические материалы, 1975, № 5, 8.
86. В. Е. Басин, А. А. Берлин, Сб. Адгезия полимеров и адгезионные соединения в машиностроении, Калинин, 1976, стр. 13.
87. Ф. Маклинток, А. Аргон, Деформация и разрушение металлов, «Мир», 1970, стр. 444.
88. Чувствительность механических свойств к действию среды, под ред. Е. Д. Щукина, «Мир», 1969, стр. 352.
89. В. С. Иванова, В. Ф. Терентьев, В. Г. Пойда, Металлофизика, 1972, № 43, 63.
90. П. И. Зубов, Л. И. Сухарева, М. Р. Киселев, Высокомолек. соед., Б14, 103, 1972.
91. И. Н. Сокольникова, Кандидатская диссертация, Москва, МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1975.
92. Л. А. Акопян, Э. В. Гронская, Г. М. Бартенев, Физико-химическая механика материалов, 10, 62, 1974; Сб. Структура и свойства поверхностных слоев полимеров, под ред. Ю. С. Липатова, «Наукова думка», 1972, стр. 263.
93. И. Л. Шмурак, Сб. Адгезия полимеров и адгезионные соединения в машиностроении, Калинин, 1976, стр. 44.

## THE PRESENT-DAY VIEWS ON THE NATURE OF ADHESIONAL STRENGTH

*Basin V. E.*

### Summary

Interphase molecular bonds arising in adhesional compounds at the region of contact of heterogeneous materials, exert on a value of adhesional strength not only the direct but also indirect influence caused by the fact that, first, the molecular forces at the region of the contact of polymer with substrate transform the structure of an adjacent polymer layer that, in its turn, exerts the influence on the localization of stresses and the mechanism of the developement of microdefects. Secondly, it is caused by the fact that the components of adhesional compound reveal mechanical properties distinct from those under their different deformation. Thirdly, interphase molecular forces have the influence on the kinetics of relaxation processes and, consequently, on the level of internal stresses. Thus, the interphase molecular forces have the influence on the value of adhesional strength not only for the adhesional character of break «distantly controlling» the break micromechanics.