

симостях.

Параметры жесткости каркасов должны входить дополнительными слагаемыми в жесткость железобетонного элемента, т.е. жесткость этого элемента должна быть представлена выражением

$$EI = E_b I_{red} + E_k \Phi_k,$$

где  $E_k \Phi_k$  – жесткостной параметр арматурного каркаса;  $E_b I_{red}$  – приведенная нормативная жесткость изгибаемого железобетонного элемента (с наличием трещин или без них).

Работу арматурного каркаса в железобетонном элементе можно условно рассматривать как деформативность заданного арматурного изделия в какой-то однородной среде. Эту среду можно смоделировать в виде конкретного материала, обладающего заданными физико-механическими свойствами. Очевидно, с повышением класса бетона влияние данной среды будет менее существенным, чем для низких классов бетона.

*Получено 26.08.2001*

УДК 651.58

С.М.ЗОЛОТОВ, канд. техн. наук

*Харьковская государственная академия городского хозяйства*

### **АДГЕЗИЯ И КОГЕЗИЯ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Приводятся теоретические обоснования адгезионной и когезионной прочности клеев, используемых для соединения бетонных и железобетонных конструкций.

В настоящее время процессы склеивания нашли широкое распространение почти во всех отраслях промышленности, особенно в строительной. Современные синтетические и другие связующие материалы обеспечивают прочную и надежную связь между твердыми поверхностями. Особое значение склеивание имеет в тех случаях, где оно является единственно возможным способом крепления (например, соединение металлов с бетоном). Расширение областей применения адгезивов на органической основе по сравнению с другими видами крепления (сварка, пайка и др.) обусловлено целым рядом преимуществ клеевых соединений: возможностью соединения разнородных материалов, герметичностью клеевого шва, равномерным распределением напряжений в соединяемых материалах и др. Примером здесь может служить использование акриловых клеев для строительства, реконструкции и ремонта зданий и сооружений [1, 2].

С помощью акриловых клеев различных составов можно соединять бетон с бетоном (старый со старым, новый со старым), заделывать в бетон арматурные стержни периодического профиля, а также осуществлять поверхностную приклейку стальных элементов с бетоном.

В последнее время актуальной становится задача научного подхода к управлению технологическим процессом склеивания с заданными свойствами. Для этого нужно знать механизм адгезионных явлений, учитывать когезионные свойства склеиваемых тел и клеящих материалов, так как явления адгезии и когезии взаимосвязаны [3-8]. Это подтверждается следующим:

любую двухфазную систему подложка + адгезив при расслаивании в неравновесных условиях можно рассматривать как два тела, склеенные третьим компонентом, которым являются поверхностные слои подложки и адгезива на границе раздела фаз;

поведение адгезива и подложки на межфазной границе при ее нарушении тесно связано с поведением адгезива и подложки в любых точках их объема;

независимо от типа отрыва нельзя не учитывать свойства объемной фазы контактирующих поверхностей.

При изучении адгезионных явлений нужно различать три взаимосвязанные, но различные проблемы. Авторы [7] предлагают для определения процессов достижения молекулярного контакта и установления молекулярной связи между двумя телами ввести термин "прилипание". Ясно, что установление молекулярного контакта зависит от процессов диффузии, релаксации, смачивания, ряда технологических факторов и т.п. Термин "адгезия" следует использовать для обозначения достигнутой прочности молекулярной связи. Таким образом, прилипание должно обозначать процесс, а адгезия – количественную меру его результата. Кроме того, необходимо рассматривать процессы нарушения адгезионной связи, так как ее создание и нарушение протекают различно [3, 6]. В то же время нельзя отождествлять адгезионную прочность и адгезию, что еще встречается в ряде работ.

Адгезионные явления – это результат проявления различного рода взаимодействий. Поэтому рассмотрение проблем адгезии следует начинать с анализа возможных видов взаимодействия различных тел при их соединении, так как адгезионная прочность во многом зависит от когезионной прочности контактирующих тел. Подтверждением этого служит и то, что адгезионная прочность часто превышает когезионную прочность наименее прочного из тел, составляющих систему адгезив - субстрат. Это имеет место при нарушении клеевых соедине-

ний бетонов, когда идет разрушение по бетону. При склеивании же большинства металлов разрушение происходит по клеевому слою, т.е. тоже когезионно. Поэтому можно предположить, что природа сил, ответственных за адгезионную и когезионную прочность, одинаковая. Это в основном силы межмолекулярного характера и химической природы, хотя в ряде случаев важная роль во взаимодействиях молекул адгезива и субстрата принадлежит водородным связям.

Для количественной оценки прочности используют ряд характеристик. Часто о прочности судят по значению разрушающего напряжения при растяжении. Расчет теоретической прочности обычно проводят по уравнению Морзе [см. 3, 8], пригодному для любого типа связей и выражающему зависимость потенциальной энергии от расстояния. Оцененная таким образом теоретическая прочность твердых тел составляет  $10^3$ - $7 \cdot 10^4$  МПа, реальная же прочность большинства тел на 2-3 порядка ниже.

Для объяснения различий между теоретическими и экспериментальными данными разрывных напряжений Гриффит предположил, а А.Ф.Иоффе [см. 11] доказал наличие в испытуемых твердых телах различного рода микротрещин, у краев которых напряжение повышено в сравнении со средним и трещины в результате действия максимального напряжения разрастаются, что и приводит к значительному снижению реальной прочности твердых тел. С уменьшением сечения образца значения разрушающего напряжения возрастают также у нитевидных кристаллов ("усов"), свободных от дислокаций и микротрещин, приближаясь к теоретическим.

Процесс разрушения протекает во времени. Если структура вещества не изменяется при нагружении, то прочность всех тел, в том числе полимерных, можно описать на основе уравнения в [3]

$$\tau_p = \tau_0 e^{\frac{u_0 - \gamma \sigma}{KT}}, \quad (1)$$

где  $\tau_p$  – долговечность;  $\sigma$  – напряжение;  $K$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура;  $u_0$ ,  $\gamma$  и  $\tau_0$  – некоторые постоянные. Таким образом, если теоретическая прочность тел достигает  $10^4$ - $7 \cdot 10^5$  гс/см<sup>2</sup>, то следует ожидать, что и теоретическая адгезионная прочность должна достигать высоких значений.

Об адгезионной прочности судят по сопротивлению адгезионного соединения. Для теоретической оценки величины адгезионной прочности можно использовать уравнения в [7, 10]. В [8] рассчитали адгезию полиэтилена и стали, предположив, что она обусловлена слабыми

дисперсионными силами, и получили значение силы 370 МПа. С учетом химического взаимодействия величина адгезионной прочности оказалась бы гораздо большей. В.П.Смилга и Б.В.Дерягин [7] показали, что электростатическая составляющая сил адгезии может достигать  $1,48 \cdot 10^3$ - $1,48 \cdot 10^5$  МПа. На практике такие значения не реализуются, но даже при ионизации 1% поверхностных атомов электростатическая составляющая сил адгезии может достигать  $10^3$  МПа. Однако реальная адгезионная прочность в лучшем случае находится в пределах нескольких сотен МПа. Поэтому имеются неиспользованные резервы для увеличения реальной адгезионной прочности.

Последние работы отражают заметные успехи как в разработке физико-химических процессов адгезионных явлений, так и в высказывании различных теоретических воззрений на величину адгезионной прочности. В настоящее время получили развитие следующие теории адгезии: адсорбционная, молекулярная, электрическая (электронная), электрорелаксационная, диффузионная, молекулярно-кинетическая и микрореологическая.

Основы адсорбционной теории адгезии разработали Де Брайн и Мак-Лорен [см. 9, 10] с сотрудниками. Адсорбционную теорию адгезии обычно рассматривают относительно процесса формирования связи между адгезивом и субстратом, который определяется адсорбцией молекул адгезива к поверхности субстрата. В частности, адсорбционные процессы возникают при формировании клеевого шва из слоя жидкости. При этом адгезия зависит от многих факторов: концентрации раствора, природы растворителя, температуры среды и т. д. Однако не всегда достигается корреляция между адсорбцией и адгезией. Адсорбционная теория рассматривает адгезию как чисто поверхностный процесс, образование связи между адгезивом и субстратом объясняется действием межмолекулярных сил. В дальнейшем покажем, что между адгезивом и субстратом могут возникать и химические силы.

По Мак-Лорену образование клеевого шва происходит в две стадии:

- 1) миграция молекул адгезива к поверхности субстрата вследствие микроброуновского движения;
- 2) сорбция, в результате которой адгезив закрепляется на поверхности субстрата в результате образования различных связей. Молекулярные силы начинают действовать, как только расстояние между молекулами станет меньше 5 А и постепенно наступает адсорбционное равновесие.

Одно из основных правил адсорбционной теории, выведенное Де Брайном, утверждает, что для склеивания какого-либо материала нуж-

но брать клей, смачивающий поверхность этого материала, т.е. полярные клеи склеивают полярные материалы, а неполярные – неполярные. В основном (хотя и не всегда) это правило соблюдается, однако требует осторожного применения.

Наиболее полно адсорбционная теория адгезии разработана для жидкостей. Работа адгезии двух жидкостей характеризуется как баланс поверхностных натяжений системы в результате разъединения этих жидкостей. Работа адгезии жидкости к твердому телу определяется по уравнению Дюпре-Юнга

$$W_{адг} = \sigma_{ж-в} (1 + \cos \varphi), \quad (2)$$

где  $\sigma_{ж-в}$  – поверхностное натяжение на границе жидкость - воздух;  $\varphi$  – краевой угол смачивания.

Термодинамическая концепция представляет лишь одну из сторон адсорбционной теории адгезии, а само смачивание является скорее необходимым, но не достаточным фактором реализации высокой адгезии. Июнхорн и Шарль [см. в 10] предложили теорию адгезии, основанную на учете свободной поверхностной энергии соприкасающихся тел, которая является новым вариантом адсорбционной теории. Эти авторы считают, что для хорошей адгезии между чистыми телами А и Б тело А должно растекаться по телу Б или наоборот. Это условие соблюдается при  $F_T \geq F_{жк} + F_{жк-т}$ , где символы соответственно обозначают поверхностные свободные энергии твердого тела в вакууме, жидкости и на границе раздела жидкость - твердое тело. Оно позволило объяснить целый ряд моментов, например, склеивание полярных материалов с неполярными, но все же термодинамическая трактовка адгезии не является безупречной. Действительно, даже для случая жидкость - металл наблюдается возникновение двойного электрического слоя зарядов (д.э.с.) на границе контакта, что показано еще Гельмгольцем. Влияние этих зарядов заключается в том, что помимо объемного и поверхностного членов в уравнении свободной энергии существенную роль играет энергия электрического поля, поэтому работа адгезии, вычисленная по уравнению в [10], не отвечает ее настоящему значению.

Дальнейшие исследования привели к разработке молекулярной теории адгезии. Как показали А.А.Берлин и В.Е.Басин в [4], вопрос о взаимодействии в зоне контакта адгезив - субстрат сегодня можно поставить в более общем плане, не связывая его с наличием конкретных функциональных групп в компонентах системы. Установлено, что полимер, обладающий по отношению к субстрату донорными или аку-

сторными свойствами, также способен к высокой адгезии даже при отсутствии явно выраженных функциональных групп. На поверхности раздела возможно также образование комплексов с переносом заряда [4].

Молекулярная теория адгезии учитывает и термодинамические аспекты, так как процессы смачивания и растекания сопровождаются поверхностной диффузией и миграцией молекул адгезива по поверхности субстрата. По мере достижения расстояний в несколько ангстрем между молекулами адгезива и субстрата начинают действовать молекулярные силы, ответственные за адгезионную прочность. Поскольку в природе химических реакций заложена естественная тенденция протекать в сторону образования веществ, характеризующихся более прочными межатомными связями, то при большом проценте реализации химических связей когезионное разрушение более вероятно, чем адгезионное [10].

Примеры, когда между адгезивом и субстратом реализуются химические взаимодействия, приведены Н.И.Москвитиным в [10]. Химическое взаимодействие наблюдается на границе раздела стекло - эпоксидная смола, металл - эпоксидная смола, древесина - мочевиноформальдегидные полимеры, резина - медь, нейлон - сталь, стекло - желатин и др. С группами *-ОН* стекла и целлюлозы могут реализовываться сложноэфирные, ацеталевые, уретановые и другие типы связей. Распространенным видом взаимодействия на границе полимер - металл являются ион-дипольное взаимодействие и водородные связи. Такие примеры можно продолжить и убедиться, что химическое взаимодействие адгезива и субстрата - не такое редкое явление, хотя абсолютное число химических связей небольшое даже при значительной адгезии, так как при их образовании должны соблюдаться определенные валентные углы и межатомные расстояния. В настоящее время развита микрореологическая теория адгезии [5], согласно которой допускается, что в процессе формирования адгезионного соединения происходит заполнение выемов шероховатости поверхности субстрата, увеличение площади фактического контакта, а следовательно, и числа связей между адгезивом и субстратом, что приводит к возрастанию адгезионной прочности. Микрореологическая теория рассматривает влияние числа химических связей и средней энергии единицы связи и представляет работу адгезии в следующем виде:

$$W_{adz} = \bar{W}N, \quad (3)$$

где  $\bar{W}$  - средняя энергия единицы связи, определяющая адгезию;  $N$  - число связей в расчете на единицу площади адгезива и субстрата.

С позиций указанных выше теорий можно объяснить многие стороны зависимости адгезионной прочности от различных факторов (температуры, времени и давления дублирования, скорости отрыва, рельефа поверхности подложки, угла отрыва, температуры расслаивания, природы полимера и подложки, введения в адгезив наполнителей, пластификаторов и др.).

Однако в последнее время появились работы, указывающие на электризацию поверхностей отрыва, наличие разряда, сопровождающегося треском и свечением, изменение адгезионной прочности от давления и рода окружающей газовой среды, что позволило Б.В.Дерягину и Н.А.Кротовой [6] сформулировать электрическую теорию адгезии. Согласно этой теории: 1) адгезия твердых тел обуславливается электростатическим притяжением зарядов д.э.с., возникающего на поверхности раздела адгезив - субстрат; 2) отрыв адгезива (пленки) от субстрата представляет процесс разведения обкладок микроэлектроконденсатора до наступления газового разряда. Установлено, что закономерности, управляющие процессом отрыва, такие же, как при явлении газового разряда (закон Пашена). Кривая Пашена привлекается авторами электрической теории в качестве вспомогательного графика при расчетах электрических характеристик адгезии. Работу адгезии можно определять по формуле

$$W_{эл} = \frac{2\pi\sigma^2 h}{\epsilon} = \frac{\sigma V}{2}, \quad (4)$$

где  $\sigma$  – поверхностная плотность электризации;  $h$  – разрядный промежуток;  $V$  – разрядный потенциал;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды (для воздуха  $\epsilon = 1$ ).

Достоинство электрической теории адгезии состоит в том, что она позволяет оценить силы электростатического характера на границе раздела фаз, называет способы их усиления и вскрывает механизм образования зарядов д.э.с. Так, В.П.Смилга в [7] привел расчет электростатической составляющей адгезии при контакте металла с полупроводниковой пленкой конечной толщины, граничащей с вакуумом, с учетом проверки состояний полупроводника, т.е. когда плотность зарядов двойного слоя определяется контактной разностью потенциалов. Силы сцепления в этом случае могут достигать порядка 40 кгс/см<sup>2</sup>. Таким образом, в этих работах устанавливается важное значение поверхностных состояний для образования зарядов д.э.с., "металлизирующих" поверхность полупроводника, т. е. создающих дополнительный источник электронов.

Вводя некоторое усредненное положение донорных и акцепторных центров в поверхностных слоях контактирующих тел, В.П.Смилга рассматривал процесс обмена электронами между донорами и акцепторами с точки зрения термодинамики и пришел к окончательному выражению для числа прореагировавших донорно-акцепторных пар на площади в один квадратный сантиметр:

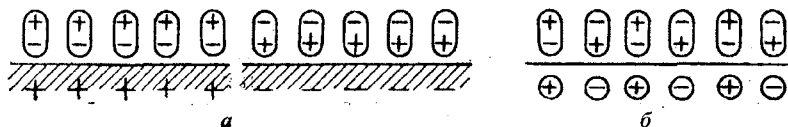
$$\frac{n}{N_d - n} = \exp \left[ \frac{W_0(d_1 d_2 \varepsilon_1 \varepsilon_2) - e \beta v_{(n)}}{KT} \right], \quad (5)$$

$$\Delta v_{(n)} = 4\pi e n \left( \frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2} \right).$$

Здесь  $N_d$  – плотность донорных центров;  $W_0$  – разность энергетических уровней в донорном и акцепторном центрах;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – диэлектрическая проницаемость контактирующих тел;  $d_1, d_2$  – расстояния от границы раздела до положения электрона в донорном и акцепторном центрах;  $\Delta v_{(n)}$  – разность потенциалов, создаваемая полем прогрессировавших донорно-акцепторных пар;  $\beta$  не зависит от  $n$  и близко к 1.

При разумных значениях параметров, входящих в (5), была оценена поверхностная плотность электризации  $\sigma$  [4], которая оказалась равной  $10^3$ - $10^4$  ед. CGSE/cm<sup>2</sup> и может обеспечить силу адгезии в сотни МПа.

В общем случае образование д.э.с. происходит в результате отдачи электронов одного тела другому, которое их каким-то образом накапливает. В ряде случаев д.э.с. возникает за счет ориентированной адсорбции дипольных групп полимера на поверхности подложек. На рисунке изображена схема ориентации диполей на поверхностях подложек, заряженных положительно или отрицательно (а), и на поверхности металла (б). Ориентация дипольных групп изменяет разность потенциалов между фазами, что влияет на перераспределение электронов и переход их через границу раздела фаз до восстановления равновесия. Возникает д.э.с., свойства которого определяют величину неравновесной адгезии.





Существуют и другие механизмы образования д.э.с., которые можно объяснить из анализа энергетических схем твердых тел [7]. Образование д.э.с. является интегральным результатом локальных взаимодействий между молекулами граничных слоев.

Дальнейшим развитием электрической теории явилась электронная теория адгезии, трактующая в основном процессы формирования двойного слоя при образовании адгезионной связи и его вклад в прочность последней [5].

Подтверждением электрической теории адгезии служат электронная эмиссия и радиоизлучение, наблюдающиеся при разрушении адгезионных соединений, а также возможность создания адгезионного контакта наложением внешнего электрического поля. Без представлений об образовании в зоне контакта д.э.с. невозможно объяснить метод сваривания пленок полимеров ультрафиолетовой радиацией, освоенный рядом зарубежных фирм. Особенно четко значение электрического компонента показано в области адгезии порошков.

Выделяют также диффузионную теорию адгезии, развитую С.С.Воюцким [5], и электрорелаксационную теорию Н.И.Москвитина [10].

Согласно С.С.Воюцкому адгезия и аутогезия сводятся к диффузии цепочных молекул или их участков и образованию в результате этого прочной связи между адгезивом и субстратом. С.С.Воюцкий и Б.В.Дерягин указывали на значение взаимной растворимости полимеров и их адгезию. Диффузионные явления проявляются при аутогезии и слипании неполярных полимеров, хотя они наблюдаются и при образовании связей между полярными полимерами, если молекулы их способны к интенсивному движению. Для протекания диффузионных процессов необходимо соблюдать два условия: первое условие – термодинамическое, сводящееся к взаимной растворимости адгезива и субстрата и их совместимости, второе – кинетическое, связанное с подвижностью макромолекул. При глубинной диффузии возможен размыв границы раздела субстрат - адгезив. Но диффузия вероятна лишь при адгезии ограниченного числа систем.

Согласно электрорелаксационной теории эффект склеивания системы и поведение ее в эксплуатации обуславливаются силами взаимодействия между точками контактирующих тел, расстояниями между точками контакта, диэлектрической проницаемостью среды и абсолютным числом точек контакта.

Абсолютное число точек контакта зависит от характера протекания релаксационных процессов в системе, интенсивности движения молекул, диффузии макромолекул или их отдельных участков и усло-

вий контакта (температуры, давления, времени и др.).

Работа отрыва по электрорелаксационной теории рассматривается как результирующая трех слагаемых:

$$W_0 = W_{\text{деф}} + W_{\text{эл}} + W_p, \quad (6)$$

где  $W_{\text{деф}}$  – работа, затрачиваемая на деформацию адгезива и субстрата, включая деформацию межмолекулярных и химических связей;  $W_{\text{эл}}$  – работа, затрачиваемая на преодоление электрических сил;  $W_p$  – работа адгезии.

Основная часть работы приходится на компоненты  $W_{\text{эл}}$  и  $W_{\text{деф}}$ . Удельный вес каждого слагаемого зависит от условий опыта. Во всех случаях факторы, изменяющие упругую энергию полимера, изменяют и работу отрыва.

Электрорелаксационная теория признает диффузионные процессы в адгезии и аутогезии как фактор, увеличивающий абсолютное число точек контакта.

Привлекает внимание и теория слабых граничных слоев [11], согласно которой адгезию определяют слабые граничные слои, образующиеся в зоне контакта. Нарушение целостности этих слоев приводит к разрушению материала или отрыву клеевого слоя.

Любая теория адгезии должна охватывать основные факторы, влияющие на ее величину. Их роль неодинаковая в зависимости от формы и природы тел. Поэтому можно отдельно говорить о теории адгезии мелких частиц, пленок, но не о диффузионной теории адгезии вообще, безотносительно к природе объектов. Нет смысла говорить и об адсорбционной теории, так как настоящая адсорбция – далеко не обязательный спутник, а тем более фактор адгезии.

Бессмысленно также противопоставление диффузионной и электрической, электрической и электрорелаксационной теорий, так как они трактуют явления, имеющие место на разных стадиях процесса. Кроме того, между возникновением д.э.с. и химическими реакциями с образованием электровалентной химической связи также существует аналогия, основанная на глубоком родстве механизмов обоих явлений.

Итак, мы здесь кратко осветили проблемы адгезии и выявили ряд общих факторов, определяющих величину адгезионной прочности. Адгезия – сложное явление, связанное с химическим составом и строением адгезивов и подложек, режимом формирования адгезионного соединения, толщиной слоя связующего, влажностью склеиваемых поверхностей и т.д. Глубокое проникновение в природу явлений

прилипания требует учета достижений современной науки: физики и химии поверхностей, физики и химии твердого тела, физики и химии полимеров и поверхностных явлений. Несмотря на большое количество работ, адгезия продолжает оставаться проблемой современной науки, в которой еще много предстоит сделать.

В настоящее время идут поиски увеличения адгезионной прочности за счет воздействия на химическую природу адгезивов и субстратов, а также величину поверхностей электризации. Важное значение имеют работы, связанные с чисто технологическими проблемами, в частности проведение склеивания таким образом, чтобы установился по возможности более полный (молекулярный) контакт по всей поверхности склеивания. Однако при склеивании бетонов уже на первой стадии формирования адгезионного соединения возникают различные дефекты, являющиеся потенциальными очагами разрушения адгезионного соединения: загрязнения, оставшиеся на поверхности бетона по разным причинам, всевозможные поры, трещины, скопления пузырьков воздуха и др. Немаловажное значение имеют и такие факторы, как давление, температура, время отверждения клеящего материала при формировании адгезионного соединения, толщина слоя адгезива, его вязкость, наличие различных добавок, модифицирующих адгезив или подложку. Подбирая оптимальные режимы формирования адгезионных соединений, вводя различные добавки в адгезив, снижающие внутренние напряжения, и проводя соответствующую обработку субстрата, можно добиться качественного склеивания бетонных элементов, прочной заделки анкеров в бетон и др.

1. Шугенко Л.Н., Золотов М.С., Клименко В.З. и др. Клеевые соединения древесины и бетона в строительстве. – К.: Будівельник, 1990. – 136 с.

2. Шугенко Л.Н., Золотов С.М., Гарбуз А.О. и др. Использование акриловых клеев для реконструкции и ремонта зданий и сооружений // Будівельні конструкції: 36. наук. праць. Вип. 54. – К.: НДБК, 2001. – С. 810-814.

3. Белый В.А., Егоренков Н.И., Плесначевский Ю.М. Адгезия полимеров к металлам. – Минск: Наука и техника, 1984. – 287 с.

4. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1990. – 391 с.

5. Воюцкий С.С. Аутогезия и адгезия высокополимеров. – М.: Гостехиздат, 1978. – 244 с.

6. Дерягин Б.В., Кротова Н.А. Адгезия. – М.: Наука, 1977. – 244 с.

7. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. – М.: Наука, 1983. – 279 с.

8. Зимов А.Д. Адгезия пленок и покрытий. – М.: Химия, 1988. – 252 с.

9. Москвитин Н.И. Склеивание полимеров. – М.: Лесн. пром-сть, 1968. – 304 с.

10. Москвитин Н.И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – 191 с.

11. Гуль В.Е. Прочность полимеров. – М. - Л.: Химия, 1964. – 228 с.

*Получено 29.08.2001*