

О СВАРИВАНИИ ЖЕСТКИХ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

I. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СВАРКИ

Н. А. Гришин, С. С. Вороцкий

В последнее время сваривание термопластических полимеров начинает получать широкое распространение в технике. Сваривание применяют при изготовлении конструкций из органического стекла, винипласта, полиэтилена, фторопластика и других термопластических смол. Процесс сваривания, т. е. соединение под действием тепла в одно целое частиц термопластика, лежит также в основе получения технических и бытовых изделий из пресспорошков.

Несмотря на такое большое практическое значение этого процесса, природа явлений, лежащих в основе сваривания термопластических смол, до сих пор мало изучена. Можно было бы думать, что при сваривании, в результате действия на полимер высоких температур, происходит деполимеризация, а затем мономер вновь полимеризуется, соединяя, таким образом, свариваемые поверхности. Однако такое объяснение маловероятно. Во-первых, деполимеризация большинства термопластических полимеров идет обычно при температурах более высоких, чем те, которые применяются при сваривании. Во-вторых, трудно допустить, чтобы при охлаждении сварочного шва мономер мог полимеризоваться в отсутствие специальных инициаторов. Наконец, в-третьих, целый ряд эластомеров (натуруальный каучук, полихлоропрен, полизобутилен и др.) способен к свариванию при комнатной температуре, что полностью исключает возможность процессов деполимеризации и последующей полимеризации. Учитывая одинаковый характер процесса горячей и холодной сварки, было бы неправильно предполагать, что оба явления имеют различные механизмы.

Исходя из распространенного мнения, что адгезионные явления обусловлены действием только молекулярных сил [1, 2], сваривание при повышенных температурах можно было бы попытаться свести к размягчению соприкасающихся поверхностей полимера и к увеличению в результате этого площади истинного контакта и облегчению ориентации полярных групп. Однако было показано [3, 4], что действия одних молекулярных сил недостаточно, чтобы объяснить адгезию между поверхностями, приведенными даже в самый тесный контакт. Нельзя использовать для обоснования сваривания термопластиков и электрическую теорию адгезии, предложенную Дерягиным и Кротовой [3, 4], поскольку в этом случае имеет место самослипание, и образование двойного электрического слоя маловероятно. Проще всего объяснить сваривание жестких термопластических полимеров с точки зрения диффузионного механизма аутогезии [5–8].

В настоящей работе рассматривается влияние на сваривание различных факторов и на основе экспериментальных данных делаются некоторые выводы о механизме этого явления. Работу проводили в основном на промышленном органическом стекле — полиметилметакрилате, как не-

пластифицированном, так и пластифицированном шестью процентами бутилфталата. Для сравнения поведения полиметилметакрилата с другими термопластиками в ряде опытов сварке подвергали винипласт (непластифицированный поливинилхлорид) и полистирол.

Сваривание проводили следующим образом: две прямоугольные пластины термопластика с гладкими фрезерованными торцами помещали торцами встык в сварочном приспособлении, схематическое устройство которого показано на рис. 1. Свариваемые торцы прижимали друг к другу

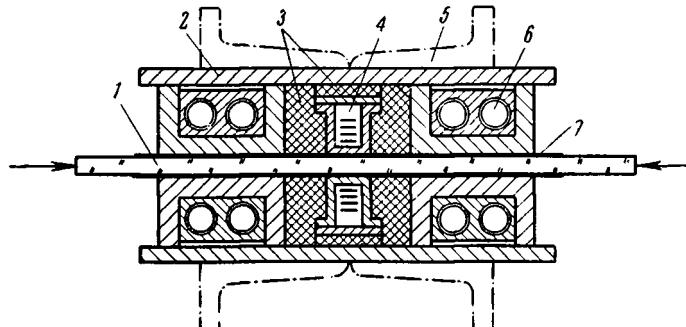


Рис. 1. Схема приспособления для сварки пластин термопластиков встык:

1 — свариваемая заготовка; 2 — металлическая пластина; 3 — теплозолятор; 4 — электронагреватель; 5 — траверса установки; 6 — трубка для водяного охлаждения; 7 — прокладка из нержавеющей стали толщиной 0,3 мм

усилием, направленным нормально к плоскости сваривания, а места контакта разогревали узкими электронагревателями сопротивления. Локализации нагрева способствовало также наличие у сварочного приспособления охлаждающего устройства, которое включали с момента повышения температуры. Сварочное приспособление позволяло изменять давление запрессовки в широком интервале. Наличие ограничительных плит исключало заметную деформацию образцов, размягчавшихся в месте контакта вследствие нагрева. После достижения заданной температуры (примерно за 15—20 мин.) образцы выдерживали в таком положении определенное время (время сваривания) и затем охлаждали под давлением в сварочном приспособлении в течение 10—12 мин. Понятно, что продолжительность сваривания при таком режиме сварки определялась не точно, так как процесс сваривания протекает, конечно, как в конце периода разогрева образца, так и в начале периода охлаждения, когда температура еще достаточно высока. Однако, поскольку условия нагрева и охлаждения всегда выдерживали одинаковыми, это не могло существенным образом исказить установленные в результате опытов общие закономерности. Впрочем, в опытах, имевших целью установление влияния на прочность сваривания времени контакта образцов, режим сварки видоизменяли таким образом: образцы сначала нагревали до необходимой температуры, а затем уже приводили в контакт при определенном давлении.

Сваренные образцы испытывали на разрыв в направлении, нормальному к плоскости сваривания, при помощи обычного динамометра. Как правило, разрыв сваренных образцов происходил по плоскости первоначального контакта. Существенно, что при нагружении образцов вплоть до разрывной нагрузки, при наблюдении в поляризованном свете нельзя было обнаружить неравномерностей распределения напряжений в плоскости сварного шва. Поэтому можно считать, что полученные значения сопротивления разрыву являются количественной характеристикой аутогенционной прочности.

Влияние давления. На рис. 2 приведена зависимость прочности сваривания образцов из различных термопластиков от давления во время сварки при разных температурах. Минимальное давление, приложенное к концам свариваемых образцов термопластиков, составляло, как правило, 10 кГ/см². При меньших давлениях обычно не удавалось получать воспроизводимых результатов.

Следует заметить, что вследствие трения образцов о прокладки истинное давление, которым торцы были прижаты друг к другу, было, вероятно, несколько меньше номинального. Продолжительность сваривания в этих опытах составляла 15 мин. Каждый из полимеров сваривали при двух температурах: при температуре, лежащей в интервале высокоэластического состояния (кривая а для каждого полимера на рис. 2), и при температуре, отвечающей вязкотекучему состоянию (кривая б для каждого полимера).

Рис. 2. Зависимость прочности сваривания различных полимеров от давления при сварке (продолжительность сварки 15 мин.):

1а — поливинилхлорид,¹ температура сварки 150°; 1б — то же, 180°; 2а — полистирол, температура сварки 100°; 2б — то же, 120°; 3а — полиметилметакрилат, температура сварки 150°; 3б — то же, 200°.

Как можно видеть, характер кривых прочности сваривания — давление для поливинилхлорида и полиметилметакрилата, сваренных в высокоэластическом состоянии, подобен характеру аналогичных кривых для полизобутилена, полученных Воюцким и Замазий [6]. Прочность сваривания возрастает с увеличением давления, стремясь к определенному пределу. Это объясняется тем, что после достижения известного давления, обеспечивающего полный контакт свариваемых поверхностей, дальнейшее увеличение давления бесполезно. Аналогичные данные в отношении влияния давления на сваривание были получены нами и при сварке пластифицированного полиметилметакрилата при различных температурах [8].

Существенно, что максимальная прочность отвечает в случае поливинилхлорида и полиметилметакрилата значительно более высоким давлениям, чем в случае полизобутилена [6]. Это указывает на то, что при сваривании жестких термопластиков полный контакт поверхностей достигается значительно труднее. При сварке в вязкотекучем состоянии прочность сваривания мало зависит от давления. Это объясняется значительным снижением вязкости и достижением хорошего контакта свариваемых поверхностей уже при малых давлениях.

При сравнении кривых 2, а и 2, б, а также 3, а и 3, б, можно видеть, что с повышением температуры предельная прочность сваривания возрастает. Причина этого явления будет понятна из дальнейшего изложения.

В случае полистирола прочность сваривания в исследованном интервале давлений оказалась не зависящей от давления как при 120, так и

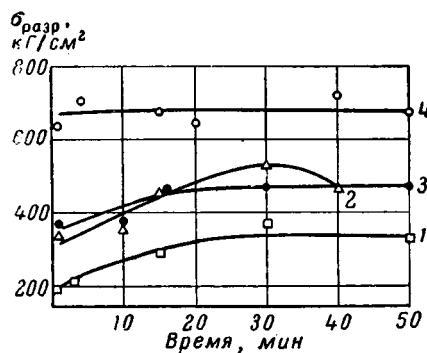
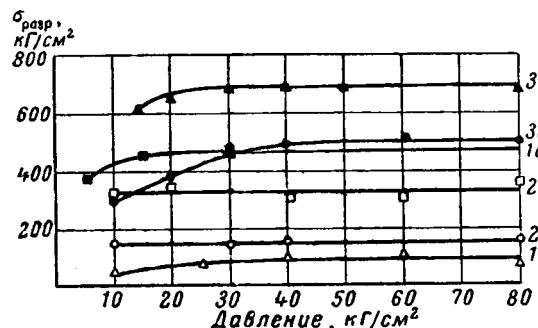


Рис. 3. Зависимость прочности сваривания различных полимеров от времени сварки (давление при сварке 40 кГ/см²):

1 — полистирол, температура сварки 120°; 2 — поливинилхлорид, 180°; 3 — полиметилметакрилат, 150°; 4 — то же, 200°

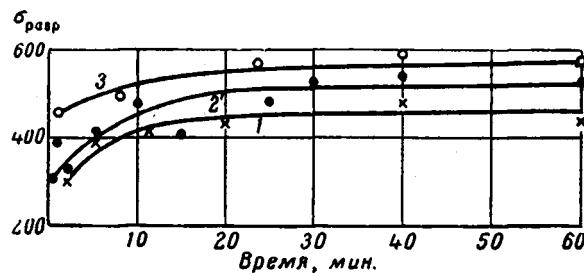
при 100° . Это можно объяснить тем, что уже при 100° полистирол достаточно пластичен и полный контакт осуществляется при давлениях порядка 10 кГ/см^2 .

Так как для всех полимеров при достаточно высоких температурах, имеющих практическое значение, максимальная прочность сваривания достигалась при сравнительно непродолжительном времени сварки (15 мин.) уже при давлении 40 кГ/см^2 , все дальнейшие опыты по свариванию были проведены при этом давлении.

Влияние продолжительности сваривания. В опытах этой серии, имевших целью исследовать кинетику явления сваривания, как мы уже говорили, режим сварки изменяли таким образом, что образцы термопла-

Рис. 4. Зависимость прочности сваривания пластифицированного полиметилметакрилата от времени сварки (давление при сварке 40 кГ/см^2)

1 — температура сварки 125° ; 2 — 135° ; 3 — 150°



стиков сначала доводили до заданной температуры, а затем уже приводили в контакт под давлением 40 кГ/см^2 , которое поддерживали во время сварки. На рис. 3 приведены кривые, характеризующие зависимость прочности сваривания от продолжительности этого процесса для полиметилметакрилата, поливинилхлорида и полистирола. Полимеры сваривали при различных температурах. Как можно видеть, в случае сваривания полиметилметакрилата при 150° и полистирола при 120° кривые указывают на то, что прочность сваривания возрастает с продолжительностью сварки, стремясь к определенному пределу. Такой вид кривых, наблюдавшийся и в случае аутогезии полизобутилена [6], а также пластифицированного полиметилметакрилата [8], является убедительным доказательством диффузионного характера процесса сваривания термопластиков. При температуре 200° прочность сваривания полиметилметакрилата практически не зависит от времени. Очевидно, при столь высокой температуре диффузия макромолекул происходит очень быстро, и максимальная прочность достигается уже в первые моменты контакта. Кривая для поливинилхлорида, в отличие от кривых для полиметилметакрилата и полистирола, имеет явно выраженный максимум. Наличие последнего объясняется малой термостойкостью поливинилхлорида. Как известно, поливинилхлорид начинает разлагаться уже при 140° , причем с увеличением длительности нагревания деструкция материала, носящая автокаталитический характер, резко возрастает.

На рис. 4 даны кинетические кривые сваривания для пластифицированного полиметилметакрилата, сваренного при температурах $125-150^\circ$. Как можно видеть, в этом случае особенно хорошо заметно возрастаение прочности сваривания в первые минуты контакта. Кроме того, форма кривых на рис. 4 в общем оказалась близкой к форме кривых аутогезионной прочности — время контакта для полизобутилена [6], а также кривых, полученных Марголиной для различных каучуков [5]. Однако в опытах с пластифицированным полиметилметакрилатом максимальная прочность достигалась при указанных выше температурах сварки за сравнительно короткий отрезок времени — 15–20 мин., в то время как в случае полизобутилена, аутогезию которого определяли при 22° , предел прочности достигался лишь за несколько часов. Этот факт свидетельствует о значительно большей скорости диффузионных процессов при высоких температурах.

При составлении диаграммы, представленной на рис. 4, возник вопрос — из какой точки от ординаты начинать каждую кривую. Из общих соображений следует полагать, что кривые не должны начинаться непосредственно от нуля, так как в момент контакта нагретых образцов полимеров происходит ликвидация поверхности полимер — воздух, и прочность, относящаяся к первому моменту контакта, когда диффузия практически еще не началась, будет обусловлена действием молекулярных сил, баланс которых устанавливается мгновенно. Однако это значение весьма трудно вычислить из теоретических предпосылок. Его трудно найти и путем экстраполяции кривых, так как на этом участке они имеют сравнительной малый радиус кривизны. Поэтому на рис. 4 кривые не доведены до оси ординат.

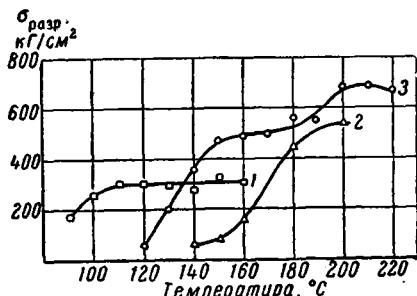


Рис. 5. Зависимость прочности сваривания различных полимеров от температуры сварки (продолжительность сварки 15 мин., давление 40 кг/см²)

1 — полистирол; 2 — поливинилхлорид;
3 — полиметилметакрилат

делению зависимости прочности сваривания поливинилхлорида и полистирола от температуры сварки, представлена в виде кривых на рис. 5.

В случае непластифицированного метилметакрилата кривая прочности сваривания — температура имеет двухступенчатый характер. Сваривание наблюдается только при температурах, лежащих выше температуры стеклования, при переходе полимера в высокоэластическое состояние. При 150° кривая претерпевает изгиб и в интервале 150—180° идет под очень небольшим наклоном к оси абсцисс. Однако при температуре, соответствующей переходу полимера в вязкотекучее состояние, кривая вновь претерпевает резкий подъем, после чего на ней наблюдается небольшое плато, лежащее в интервале 200—210°. При этом прочность сваривания становится близкой к когезионной прочности материала.

Наличие участка на кривой, идущего под малым наклоном к оси абсцисс и лежащего в интервале 150—180°, можно обосновать тем, что в высокоэластическом состоянии, которому соответствует этот участок, возможна диффузия только отдельных сегментов макромолекул. При этом, после того как сегменты продиффундировали на известную глубину, диффузия прекращается вследствие напряжений, возникающих в молекулярных цепях. Значительно пониженная прочность сваривания при 150—180° по сравнению с когезионной прочностью обусловлена, конечно, тем, что взаимопроникновение отдельных сегментов макромолекул не может обеспечить максимальной прочности сварному шву. Иначе говоря, диффузия одних сегментов не может привести к восстановлению в зоне контакта структуры, характерной для объема полимера. Небольшой наклон участка кривой, лежащего в интервале 150—180°, объясняется, вероятно, тем, что по мере повышения температуры увеличивается гибкость макромолекул, что ведет к уменьшению величины сегментов, способствует их диффузии и, следовательно, повышает прочность сваривания.

Сегментарный характер диффузии макромолекул, отвечающий высокоэластичному состоянию полимера, позволяет объяснить и различные предельные прочности сваривания, наблюдающиеся при разных температурах сварки (ср. рис. 3 и 4). Можно думать, что с повышенiem темпе-

ратуры сварки гибкость макромолекул в результате преодоления энергетических барьеров при вращении атомов углерода цепи вокруг соединяющей их одинарной валентной связи будет возрастать, а размер сегмента падать. Тем самым будет увеличиваться глубина, на которую диффундируют сегменты, а следовательно, должна стать выше и прочность сваривания.

Наличие на кривой прочность — температура сваривания плато, лежащего в диапазоне температур 200—210°, легко объясняется переходом полиметилметакрилата в вязкотекучее состояние, при котором возможна диффузия макромолекул в целом, приводящая к восстановлению в зоне сварного шва структуры, характерной для объема полимера. Такая точка зрения подтверждается тем, что прочность сваривания при этих температурах близка к когезионной прочности материала. Это следует и из того, что разрыв образцов, сваренных при 150—180°, происходит, как правило, по плоскости сварки, разрыв же образцов, сваренных при 200—210°, часто имеет место по целому материалу. Незначительное уменьшение прочности сваривания при температурах выше 210°, вероятно, обусловлено термической деструкцией полиметилметакрилата.

Следует заметить, что восстановлению структуры полимера в зоне сварного шва при высоких температурах сварки, возможно, способствуют и происходящие в этих условиях разрывы и рекомбинация молекул полимера. Значение подобных явлений при течении сетчатых полимеров под действием больших сил было недавно показано Каргиним и Соголовой [9]. Вопрос о том, насколько такие явления могут обуславливать прочность сварного шва при температурах сварки термопластиков, подлежит дополнительному выяснению.

В случае поливинилхлорида кривая прочность — температура, как это видно из рис. 5, имеет перегиб при 170°, причем последний отвечает переходу полимера в вязкотекучее состояние, так как температура текучести поливинилхлорида равна примерно 160—170°. Вызывает некоторое удивление низкая прочность сваривания поливинилхлорида при температурах ниже 150—160°, когда он находится в высокоэластическом состоянии. Возможно, что причина этого явления кроется в малой гибкости цепей поливинилхлорида или в наличии у его молекул коротких боковых ответвлений, мешающих диффузии отдельных участков цепей, но не препятствующих передвижению макромолекул в целом при температурах, отвечающих течению материала. Что касается приведенной на рис. 5 кривой для полистирола, то отсутствие на ней второго перегиба, по-видимому, связано с резким увеличением подвижности макромолекул этого полимера с повышением температуры. Как известно, полистирол выше температуры размягчения способен легко переходить в вязкую жидкость в сравнительно узком интервале температур. Этим обстоятельством и объясняется независимость прочности сваривания полистирола от температур, лежащих выше 110°.

Все сказанное выше о влиянии температур сварки на прочность сваривания жестких термопластических полимеров хорошо согласуется с диффузионной природой рассматриваемого процесса и, наоборот, не позволяет приложить к этому случаю адсорбционную теорию адгезии. В самом деле, с точки зрения адсорбционной теории очень трудно объяснить резкое возрастание прочности сваривания при переходе от высокоэластического к вязкотекучему состоянию, так как ориентацию полярных групп, которая, согласно адсорбционной теории, необходима для образования прочной связи, можно скорее связать с перемещением отдельных участков молекулярной цепи, чем с передвижением макромолекулы в целом. С точки же зрения диффузионной теории объяснение подобного явления, как мы видели, не представляет никаких трудностей и вытекает из особенностей теплового движения макромолекул в высокоэластическом и вязкотекучем состоянии полимера.

Влияние термообработки сваренных образцов. В некоторых случаях органическое стекло в производстве подвергают после сваривания термообработке при температурах, отвечающих интервалу высокой эластичности.

Чтобы установить, как термообработка влияет на прочность сварного шва, мы поставили специальные опыты.

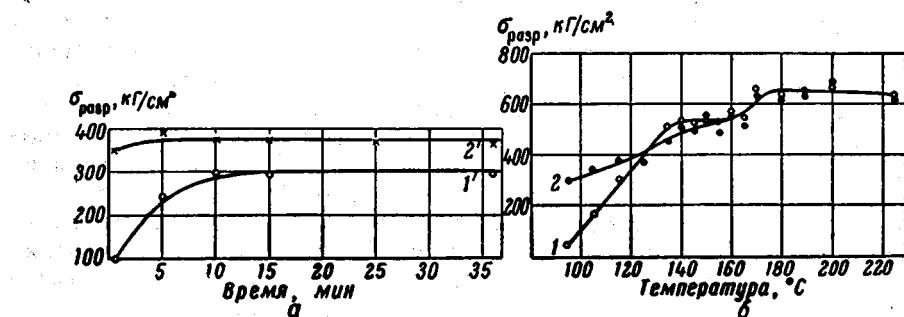


Рис. 6. Зависимость прочности сваривания пластифицированного полиметилметакрилата: а — от продолжительности сварки (температура сварки 115°, давление 40 кг/см²) до и после термообработки сваренных образцов; б — от температуры сварки (продолжительность сварки 15 мин., давление 40 кг/см²) до и после термообработки сваренных образцов:
1 — образцы до термообработки; 2 — то же после 60-минутной термообработки при 135°

На рис. 6, а изображена зависимость прочности сваривания от продолжительности сварки для образцов пластифицированного полиметилметакрилата как не подвергнутых, так и подвергнутых после сварки термообработке.

Чтобы выявить эффект термообработки, сваривание проводили при возможно более низкой температуре, т. е. при 115°; термообработка длилась 1 час при 135°.

Как можно видеть, в результате термообработки прочность образцов значительно возрастает за счет дальнейшей взаимодиффузии участков макромолекул из одного объема полимера в другой. При этом, как и можно было ожидать, влияние продолжительности сваривания на прочность сваривания после термообработки становится мало заметным.

На рис. 6, б изображена зависимость прочности сваривания от температуры сварки для того же пластифицированного полиметилметакрилата. Как и в предыдущей серии опытов, часть образцов после сварки была подвергнута термообработке при 135°. Из рис. 6, б видно, что кривая для термообработанных образцов, сваренных при 150° и выше, сливается с кривой для тех же образцов, не прошедших термообработку. При температурах сваривания 125° и ниже в случае термообработки прочность сваривания значительно выше. Примечательно, что при термообработке в интервале 125—150° прочность сваривания термообработанных образцов становится несколько меньше, чем нетермообработанных. Объяснение этому интересному явлению будет дано несколько ниже.

Для более детального изучения влияния термообработки на прочность уже готовых сварных соединений нами были поставлены дополнительные опыты по их термообработке при различных температурах и при различной ее продолжительности. Результаты этих опытов приведены в таблице.

Из данных таблицы видно, что прочность сваривания при 135° в результате термообработки при 135° практически не меняется, а при обработке при 160° снижается в тем большей степени, чем продолжительнее было нагревание. Прочность сваривания при 150, 160 и 190° в результате термообработки в течение 1—2 часов при 135° не изменяется. Однако

Влияние температуры и длительности термообработки на прочность сваривания

| Сварки | Температура, °C термообра- ботки | Продолжи- тельность тер- мообработки, часы | Прочность сварива- ния, кГ/см ² | Температура, °C | | Продолжи- тельность термообра- ботки, часы | Прочность сварива- ния, кГ/см ² |
|--------|--|---|---|-----------------------------|---------------------|--|---|
| | | | | сварки | термообра- ботки | | |
| 135 | 135 | 0 | 468 | 160 | 135 | 3 | 526 |
| 135 | 135 | 1 | 478 | 160 | 180 | 0,33 | 287 |
| 135 | 160 | 1 | 300 | 160 | 180 | 1 | расслаи- вание |
| 135 | 160 | 2 | 163 | 190 | 135 | 0 | |
| 150 | 135 | 0 | 510 | 190 | 135 | 1 | |
| 150 | 135 | 1 | 490 | 190 | 135 | 3 | |
| 150 | 135 | 3 | 500 | 190 | 180 | 1 | |
| 150 | 180 | 0,33 | 360 | Сплави- ней об- разец | | 180 | 760 |
| 160 | 135 | 0 | 500 | To же | 180 | 0 | 755 |
| 160 | 135 | 1 | 500 | To же | 180 | 1 | |

образцы, сваренные при 150 и 160°, после 20-минутной термообработки при 180° значительно уменьшают свою прочность. За один час нагрева образцы полностью расслаивались по сварному шву. Прочность сваривания при 190° в результате термообработки (при 180° в течение часа) не снижалась.

Все данные, характеризующие изменение прочности сваривания образцов в результате термообработки, можно объяснить следующим образом. При температуре сваривания 125° и ниже (рис. 6, б) термообработка при 135° сопровождается дальнейшим углублением взаимопроникновения отдельных участков макромолекул, принадлежащих к различным объемам свариваемого полимера. При температурах сваривания 150° и выше термообработка при 135° уже неэффективна, так как в процессе сваривания, проведенного при более высокой температуре, участки молекул успели проникнуть на большую глубину. При температурах сваривания, лежащих в интервале 130—145°, как это хорошо видно из рис. 6, б, термообработка ведет к некоторому уменьшению прочности сваривания. Это можно объяснить тем, что при сварке в области высокоэластичности для достижения полного контакта применяются сравнительно большие давления, вследствие чего в зоне шва после застеклования полимера остаются остаточные напряжения. Нетрудно себе представить, что при термической обработке, проводящейся без применения внешнего давления, из-за наличия в отдельных местах сварного шва остаточных напряжений может происходить диффузия участков молекул в обратном направлении, приводящая к ослаблению прочности сваривания или даже к явлениям разлипания. Это и наблюдалось в случае прогрева при 160° образцов, сваренных при 135°, а также в случае прогрева при 180° образцов, сваренных при 150 и 160°.

Весьма важно, что более длительный прогрев при температурах, отвечающих высокоэластичному состоянию полимера, не оказывает влияния на прочность соединения, сваренного в области вязкого течения. Этот факт, по нашему мнению, подтверждает уже высказанное предположение о различии в характере диффузионного механизма сваривания в интервале высокоэластичности и при вязкотекучем состоянии полимера. В самом деле, если в вязкотекучем состоянии сваривание обусловлено в основном перемещением молекул в целом, то нагревание, при котором проявляется лишь подвижность звеньев макромолекул, не может существенно ослабить уже существующую связь.

В общем случае при нагревании сварных соединений прямой процесс взаимодиффузии, ведущий к большему проникновению, и обратный про-

цесс могут протекать одновременно. Так, после 50-минутного прогрева при 180° образцов, сваренных при 160° , наблюдается расслаивание значительных участков сваренной поверхности. Вместе с тем, по когезионному характеру отрыва видно, что на сохранившихся участках шва достигнута полная монолитность последнего. Естественно, что изменение прочности сварного шва в конечном счете будет зависеть от того, какой процесс будет превалировать при термообработке.

Авторы приносят благодарность В. А. Каргину за интерес к работе и М. М. Гудимову за ряд ценных советов.

Выводы

1. При сварке полиметилметакрилата и поливинилхлорида прочность сваривания, возрастаая с давлением, при котором проводится сварка, стремится к определенному пределу. Это объясняется тем, что после достижения давления, обеспечивающего полный контакт свариваемых поверхностей, дальнейшее его увеличение для улучшения диффузии бесполезно.

2. Прочность сваривания жестких термопластических полимеров возрастает с продолжительностью сварки, стремясь к определенному пределу. Подобная зависимость является убедительным доказательством диффузионного характера процесса сваривания термопластиков.

3. В случае полиметилметакрилата прочность сваривания в общем возрастает с температурой сварки вплоть до температур, отвечающих вязкотекучему состоянию полимера, когда достигается прочность сваривания, близкая когезионной прочности материала. Кривая прочность сваривания — температура сварки имеет двухступенчатый характер, причем первая ступень отвечает диффузии участков (сегментов) отдельных молекул, а вторая — диффузии целых молекул.

4. Дополнительная термообработка уже сваренных образцов полиметилметакрилата, при температурах, превышающих температуру сварки, может увеличивать их прочность в результате дополнительной диффузии макромолекул, протекающей во время термообработки. Однако иногда в результате термообработки прочность сваривания снижается и даже наблюдается разрушение сварного шва. Подобное явление, очевидно, объясняется наличием в зоне сварного шва остаточных напряжений, которые при переходе материала в результате термообработки в высокоаластическое состояние могут обусловливать разлипание.

5. Механизм сваривания жестких термопластических полимеров в основном заключается в диффузии частей или целых молекулярных цепей из одного объема полимера в другой, в результате чего продиффундировавшие макромолекулы как бы сшивают оба объема полимера и обеспечивают возникновение между ними прочной связи.

Поступила в редакцию:
26 VII 1959

ЛИТЕРАТУРА

1. A. D. McLaren, C. H. Hofrichter, Paper Trade Journ., 125, 96, 1947.
2. A. D. McLaren, J. Polymer Sci., 3, 652, 1948.
3. Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Адгезия, Изд. АН СССР, М.—Л., 1949.
4. Б. В. Дерягин, Вестник АН СССР, 1954, № 7, 10.
5. С. С. Вуюцкий, Ю. Л. Марголина, Успехи химии, 18, 449, 1949.
6. С. С. Вуюцкий, В. М. Замазий, Докл. АН СССР, 81, 63, 1951; Коллоидн. ж., 15, 407, 1953.
7. С. С. Вуюцкий, Б. В. Штарх, Докл. АН СССР, 90, 573, 1953; Коллоидн. ж., 16, 3, 1954.
8. Н. А. Гришин, С. С. Вуюцкий, М. М. Гудимов, Докл. АН СССР, 116, 629, 1957.
9. Т. И. Соголова, В. А. Каргин, Тезисы докладов 9-й конфер. по общим вопросам химии и физики высокомолек. соед., Изд. АН СССР, 1956, стр. 127.

**ON THE WELDING OF RIGID THERMOPLASTIC HIGH POLYMERS.
I. THE EFFECT OF WELDING CONDITIONS ON THE WELDING PROCESS***N. A. Grishin, S. S. Voyutskii***S u m m a r y**

A study has been made on the effect of welding conditions on the parting force of welded polymers. The strength of the weld has been shown to increase with increase in the pressure and the duration of the welding process, approaching a given limit. This bears evidence of the diffusion character of the process. The weld strength increases with the welding temperature. In the case of polar polymers the curve: weld strength—welding temperature possesses two plateaus: the first lying within the high elastic range corresponds to segment diffusion, whereas the second lying within the range of viscous flow corresponds to diffusion of the entire molecule. It has been found that additional heat treatment of welded polymethylmethacrylate may increase its strength owing to additional diffusion of the macromolecular segments, but at times as a result of re-diffusion the strength may be reduced.