

Часто возникает необходимость жесткой посадки одной детали в другую (рис. 5.18). Эту операцию можно успешно выполнить при помощи ультразвуковой сварки. Для этого на ввариваемой детали делаются выступы (буртики), которые выполняют роль концентраторов напряжений и присадочного материала. Оптимальные размеры буртика приведены на рис. 5.18,а. Если свариваемая деталь имеет большую высоту, то необходимо предусмотреть несколько буртиков.

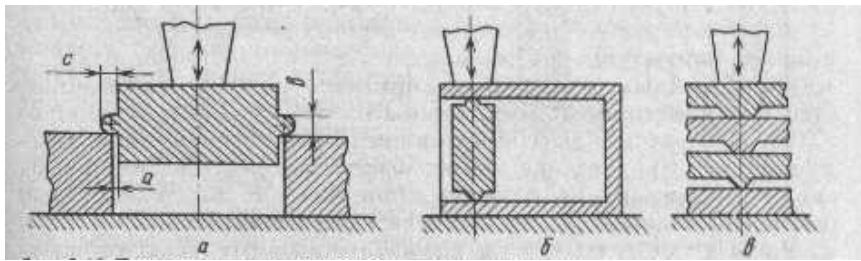


Рис. 5.18. Технологическая подготовка кромок в случаях: а – ультразвукового прессования; б – сварки в двух плоскостях; в – многоэлементной сварки; а = 0,01÷0,25 мм; б = 0,25÷1,25 мм; с = 0,25÷1,25 мм

жестко вставляется в камеру, стенки которой незначительно (на 0,3-0,5 мм) выгибаются наружу. Волновод устанавливается с одной стороны камеры над V-образным выступом. После включения ультразвука осуществляется одновременно контактная и передаточная сварка выступов детали со стенками камеры. V-образные выступы расплавляются, и камера принимает свои исходные размеры.

Одновременная сварка нескольких слоев термопластичных материалов сопровождается как большой деформацией верхнего слоя, так и неравнопрочностью соединений между слоями. Качество сварки можно существенно улучшить соответствующей подготовкой стыкуемых поверхностей (рис. 5.18,в): площадь контакта между отдельными слоями должна быть рассчитана из условий равномерного распределения энергии в зонах контакта. Изменить площадь контакта можно, варьируя выступы в форме трапеции с различной площадью основания.

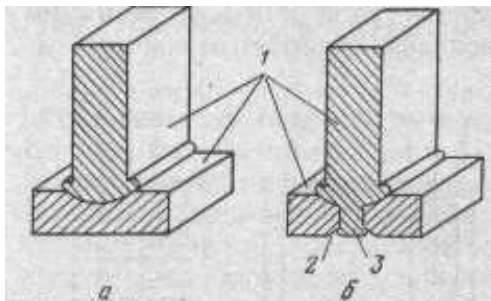


Рис. 5.19. Сварка по схеме «с преимущественным оплавлением»: а – без принудительного затекания материала; б – с принудительным затеканием расплавленного материала; 1 – свариваемые детали; 2 – фаска; 3 – расплавленный материал

Наличие разделки кромок оказывает существенное влияние на кинетику образования сварных соединений жестких пластмасс.

Анализ термических циклов и поперечных сечений сварных образцов из жестких термопластов показал, что образование сварного соединения в этом случае может происходить по двум схемам: «с преимущественным внедрением» и «с преимущественным оплавлением».

По схеме «с преимущественным внедрением» соединение образуется за счет внедрения V-образного выступа в нижнюю деталь без заметного его оплавления. Глубина внедрения может составлять от 1 до 3 мм и определяется в основном углом разделки кромок.

Так, при сварке тавровых соединений из капролона В (размеры полки 15x15x6 мм, размеры стенки 60x16x6 мм) на толстой стальной плите в диапазоне режимов $A = 35 \text{ мкм}$ и $P_{ст} =$

4÷6 Н преимущественное внедрение наблюдалось при углах разделки менее 30°. Внедрение может быть значительно увеличено за счет предварительного подогрева нижней детали, так как при этом уменьшается сопротивление ее пластическим деформациям.

При сварке «с преимущественным оплавлением» (рис. 5.19) в течение первых 0,3 с видимых превращений в полимере не происходит, а затем начинается интенсивное расплавление V-образного выступа, сопровождаемое образованием грата, равномерно выдавливаемого по обе стороны верхней детали (рис. 5.19,а).

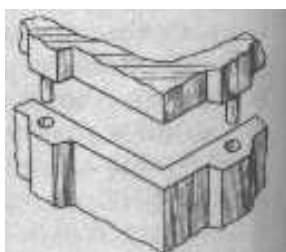


Рис. 5.20. Фиксирующие штифты на соединяемых деталях.

Уменьшение грата, улучшение внешнего вида изделия и повышение прочности соединения могут быть достигнуты за счет принудительного затекания размягченной массы полимера в специальные отверстия или полости нижней детали (рис. 5.19, б)

Соединения, сваренные «с преимущественным оплавлением», обладают повышенной прочностью, поэтому их следует применять при изготовлении изделий, которые в процессе эксплуатации подвергаются значительным нагрузкам (таких, как бачки, шаровые емкости, колеса насосов и т.д.). Соединения, сваренные по схеме «с преимущественным внедрением», могут быть использованы при изготовлении декоративно-прикладных изделий, так как они характеризуются минимальным

гратообразованием.

Более того, применение схемы «с преимущественным внедрением» дало возможность образовывать соединения из несовместимых (разнородных) по своим теплофизическим свойствам полимерных

материалов за счет чисто механического сцепления. При этом внедряться обязательно должен образец с большим модулем упругости. Так были получены соединения капролона В с полистиролом, капролона В с полиметилметакрилатом. Для того чтобы свариваемые детали не сдвигались друг относительно друга, их фиксируют штифтами (рис. 5.20). Для повышения прочности шва длина штифтов должна быть несколько больше (на 0,1-0,15 мм), чем глубина отверстия. При этом соединение не должно быть плотным, так как при

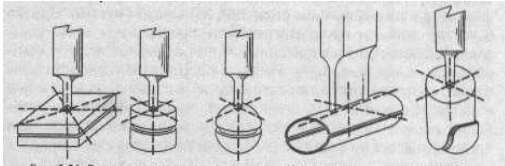


Рис. 5.21. Расположение волновода при сварке деталей несложной формы

плотном соединении уменьшается возможность растекания размягченного полимера. Малогабаритные детали несложной симметричной формы свариваются за один контакт волновода с изделием, причем волновод устанавливается перпендикулярно к свариваемым поверхностям по оси симметрии соединения (рис. 5.21). Если деталь сложная и длина сварного шва значительная, то количество точек и место введения ультразвуковых колебаний (рис. 5.22) определяются экспериментально. В зависимости от формы литьевого изделия для сварки могут быть использованы волноводы с плоской или фигурной рабочей поверхностью. В последнем случае рабочий торец волновода прилегает к поверхности свариваемых деталей, копируя ее форму. Это необходимо в том случае, когда нужно получить герметичный шов.

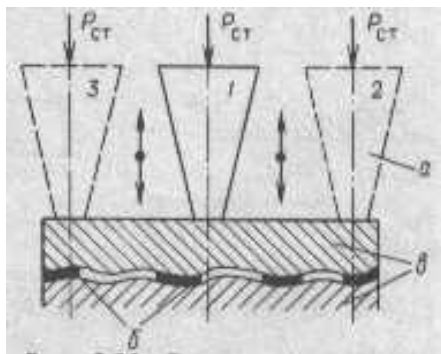


Рис. 5.22. Схема сварки крупногабаритных изделий: а – волновод; б – очаги схватывания; в – свариваемые детали; 1,2,3 – последовательность приложения волновода к изделию

Изделие, предварительно уложенное в удерживающее приспособление (опору), размещается на столе. Если изделие плохо закреплено, то сварка происходит неравномерно и сопровождается значительной деформацией свариваемых поверхностей. В зависимости от формы изделия для фиксации деталей в процессе сварки могут применяться различные опоры. Использование опор-держателей преследует три цели: предотвратить смещение одной части изделия относительно другой; предотвратить смещение в процессе сварки изделия относительно волновода; предотвратить контакт изделий с руками сварщика-оператора. Некоторые конструкции опор-держателей обеспечивают также возможность создания давления на свариваемое изделие, что может повысить качество соединения. Конструкция опор-держателей зависит от формы изделия, подлежащего сварке, и частично от материала, из которого изготовлено изделие. Плоские изделия простой

формы, в которых предусмотрена взаимная фиксация свариваемых частей, можно сваривать и без специальных опор-держателей, устанавливая и фиксируя их на сварочном столе под волноводом руками. Однако качество сварки и производительность процесса при этом невысоки. Наиболее распространенный тип опор-держателей - гнездообразная опора (рис. 5.23). Гнезда в опорах такого типа должны точно соответствовать нижней части изделия, укладываемой в опору. Иногда на дно и стенки такой опоры

приклеивают резиновые прокладки для выборки возможных зазоров, а также для предотвращения повреждения поверхности изделия при сварке.

Наиболее высокое качество соединений может быть достигнуто при сварке в гнездообразных опорах-держателях, снабженных дополнительными прижимными устройствами. Необходимость в дополнительных прижимных устройствах возникает в тех случаях, когда при сварке изделия в какой-либо одной точке происходит деформация остальной части изделия.

Конструкция прижимных устройств может быть различной. Они могут состоять из пружин, рычагов, прижимных реек, клиньев и т.д. в зависимости от конфигурации свариваемого изделия. На рис.5.24. представлена опора с прижимным устройством, применяемая при сварке цилиндрического изделия. В случае сварки крупногабаритных изделий поджатие деталей одновременно в нескольких точках обеспечивает равномерное прилегание всех сопрягаемых поверхностей и отсутствие деформации изделия при сварке.

При использовании волноводов с большой излучающей поверхностью (ножевых, контурных и т.д.) обязательным условием получения сварного соединения хорошего качества является

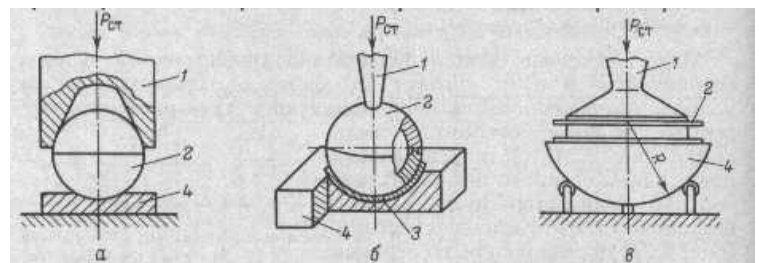


Рис. 5.23. Опоры (а, б, в) применяемые для ультразвуковой сварки объемных изделий:

1 - волновод; 2 - изделие; 3 - резиновая прокладка; 4 - опора

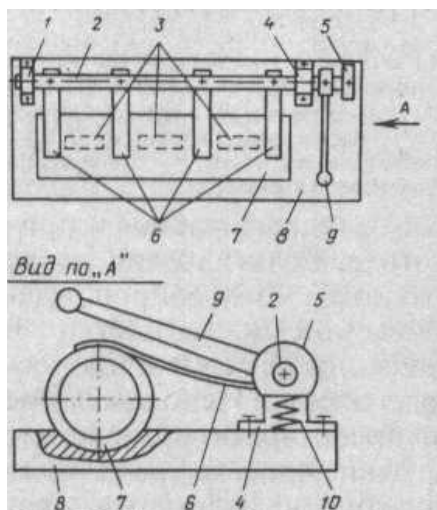


Рис.5.24. Гнездообразная опора с прижимным устройством: 1,4 - стойки; 2 - ось; 3-зоны сварки; 5 - кулачок; 6 - плоские пружины; 7 - изделие; 8 - основание; 9 - рукоятка; 10 - пружина фиксатора

приклеивают резиновые прокладки для выборки возможных зазоров, а также для предотвращения повреждения поверхности изделия при сварке.

Наиболее высокое качество соединений может быть достигнуто при сварке в гнездообразных опорах-держателях, снабженных дополнительными прижимными устройствами. Необходимость в дополнительных прижимных устройствах возникает в тех случаях, когда при сварке изделия в какой-либо одной точке происходит деформация остальной части изделия.

Конструкция прижимных устройств может быть различной. Они могут состоять из пружин, рычагов, прижимных реек, клиньев и т.д. в зависимости от конфигурации свариваемого изделия. На рис.5.24. представлена опора с прижимным устройством, применяемая при сварке цилиндрического изделия. В случае сварки крупногабаритных изделий поджатие деталей одновременно в нескольких точках обеспечивает равномерное прилегание всех сопрягаемых поверхностей и отсутствие деформации изделия при сварке.

При использовании волноводов с большой излучающей поверхностью (ножевых, контурных и т.д.) обязательным условием получения сварного соединения хорошего качества является

строгая параллельность рабочего торца волновода и поверхности свариваемого изделия. Если соприкосновение торца контурного волновода с поверхностью изделия неравномерно, то сварка также осуществляется неравномерно. Равномерность соприкосновения торца волновода с поверхностью изделия может быть достигнута при использовании прокладки из пористой резины или пружинной подушки. Для этой цели можно применять также подвижную сферическую опору, имеющую выпуклую форму (см. рис. 5.23,в). Она состоит из полусферы, которая опирается либо на шарикоподшипники, либо на гнездо со сферической поверхностью и может свободно перемещаться. На плоской поверхности полусферы располагается свариваемое изделие. Такие опоры в основном применяются при сварке изделий с большой разнотолщиной по периметру.

На свариваемость жестких пластмасс большее влияние оказывают условия хранения соединяемых деталей. Длительное хранение деталей до сварки приводит к уменьшению прочности соединения при сварке деталей, длительно хранившихся в атмосферных условиях. Сварку необходимо производить сразу после отливки деталей, при необходимости следует хранить литые детали в темных холодных помещениях. Хранение деталей в атмосферных условиях при наличии солнечной радиации, влаги и т.д. недопустимо.

Особое значение при изготовлении изделий из жестких пластмасс имеет однородность материала. Если, например, изделие изготовлено из отходов производства, в которых содержится полистирол различных марок с различными красителями, то при сварке за счет неоднородности акустических свойств может происходить существенное уменьшение амплитуды смещения по мере распространения колебаний через деталь к границе контакта полимеров. В местах плохого смешения возможна концентрация ультразвуковых колебаний, приводящая к тепловому разрушению (прожогу) изделия. Смешение полистирола разных марок (особенно из отходов производства) приводит также к некоторому увеличению времени сварки, а в отдельных случаях - к ухудшению товарного вида изделия. Для достижения лучшего качества сварного соединения в этих случаях приходится переходить от передаточной сварки к контактной, максимально приближая место подвода ультразвуковых колебаний к плоскости соединяемых поверхностей.

Амплитуда смещения волновода и давление выбираются такими, чтобы время сварки не превышало 2 с. Изделия небольших размеров могут быть сварены за доли секунды. Если время операции превышает 3-5 с, то материал расплавляется в месте соприкосновения волновода с поверхностью изделия.

Оптимальный режим сварки: время сварки 1-2 с; амплитуда смещения рабочего торца волновода 25-30 мкм; статическое усилие прижима 50-100 Н. Изделия, сваренные на этих режимах, имеют хороший внешний вид и успешно проходят испытания на удар.

Сварка полистирола. Полистирол является материалом, по отношению к которому ультразвуковая сварка оказалась уникальным процессом, позволяющим в доли секунды получить качественное соединение; это позволило полностью отказаться от склеивания дихлорэтаном, толуолом, бутилацетатом и другими вредными для организма человека веществами.

В настоящее время выпускается блочный, суспензионный, эмульсионный и ударопрочный полистирол. Ниже приведены значения модуля упругости и ударной вязкости для полистирола различных типов:

| | Блочный | Суспензионный | Эмульсионный | Ударопрочный |
|--|---------|---------------|--------------|--------------|
| Модуль упругости при изгибе, МПа | 2700 | 3100 | 2600 | 2200 |
| Ударная вязкость, кДж/м ² | 18 | 20 | 22 | 24-35 |

Ввиду того, что значения этих показателей резко отличаются друг от друга, можно предположить, что акустическое сопротивление этих материалов также различно. Поэтому для их соединения используются разные параметры сварки. Сварка полистирола при изготовлении изделий сложной формы изучалась авторами [6]. Экспериментами установлено, что наилучшей свариваемостью обладает блочный полистирол. Для получения соединений той же прочности из полистирола других марок требуется значительно большее время сварки. Благодаря малому времени сварки при соединении деталей из блочного полистирола в зоне соприкосновения волновода с изделием не остается следов. Наихудшие результаты получены при сварке ударопрочного полистирола, так как он имеет повышенный коэффициент затухания колебаний и небольшой модуль упругости.

Режимы сварки изделий из полистирола во многом определяются формой и размерами (в частности, толщиной стенки) свариваемых деталей. Амплитуда смещения рабочего торца волновода может быть равна 20-40 мкм. Если амплитуда смещения волновода слишком велика, то, как правило, происходит размягчение и подплавление материала непосредственно под волноводом или поломка изделия.

Статическое усилие прижима при использовании точечных волноводов диаметром 15 мм находится в пределах от 20 до 400 Н. Для круглых контейнеров диаметром от 60 мм требуется усилие прижима от 50-100 Н. Однако если изделие имеет тонкие стенки, давление должно быть доведено до минимума. Для каждой партии изделий сварочное давление выбирается практическим путем. Если давление слишком велико, наблюдается растрескивание изделия по всему объему. Необходимо, чтобы сварочное давление прикладывалось постепенно с помощью прижимных или пневматических механизмов и не менялось в процессе сварки. Как правило, применяется сварочный цикл давление - ультразвук (с выдержкой изделия под давлением после выключения ультразвуковых колебаний).

При сварке шаров ультразвуком были использованы две схемы подвода ультразвуковых колебаний: контактная (сварка контурным волноводом - рис. 5.23,а) и передаточная (сварка точечным волноводом - рис. 5.23,б). При контактной сварке шаров по кольцу использовались также волновод трапецеидальной формы и самоустанавливающаяся опора (рис. 5.23,в). Диаметр рабочей поверхности волновода на 1 мм меньше наибольшего диаметра свариваемого шара, что дает возможность вводить ультразвуковые

колебания в непосредственной близости от сварного шва. Недостаток схемы заключается в том, что в месте приложения волновода на изделии оставался след. При передаточной сварке шаров диаметром до 40-50 мм из блочного полистирола использовались следующие режимы: время сварки 0,6-1 с; сварочное давление 20 Н; амплитуда колебаний 30-32 мкм. Для сварки шаров диаметром 80 мм и больше разработана схема подвода ультразвуковых колебаний с двух сторон (см. рис. 5.9, а). Преобразователи работают от одного генератора мощностью 400 Вт. При этом используются точечные волноводы с амплитудой колебаний, равной 30-35 мкм, время сварки 1-1,5 с. При двустороннем подводе колебаний возможна сварка изделий из блочного полистирола и из смеси блочного полистирола с ударопрочным и суспензионным.

Хорошие результаты получаются при сварке полистирола по схеме с фиксированной осадкой. При контактной сварке пластин 5 + 5 мм из ударопрочного и суспензионного полистирола оптимальная осадка зависит от интенсивности режима сварки: жесткий режим - 0,025 ÷ 0,03 мм; средний режим - 0,05 мм; мягкий режим - 0,08 мм.

Большое влияние на качество соединений из полистирола и производительность ультразвуковой сварки оказывают красители и наполнители, вводимые в полимер. Для окрашивания пластмасс применяют органические пигменты и жирорастворимые красители, а также неорганические красители. В качестве наполнителей широко используются органические и неорганические вещества в виде порошка, волокон, зерен из карбоната кальция, кремния, слюды, криолита, порошкообразной металлической пудры, асбеста, кварца, известняка, диоксида кремния и т.д.

Основными свойствами красителей и наполнителей, которые в той или иной мере влияют на прочность соединения и производительность процесса, являются термостойкость, светопогодоустойчивость, дисперсность и укывистость (способность перекрывать цвет полимера).

Очевидно, что в материал изделий, предназначенных для ультразвуковой сварки, должны вводиться термостойкие красители, так как максимальная температура при сварке полистирола может превышать 530-550 К. В этом случае в качестве красителей целесообразно использовать органические пигменты, обладающие высокой теплостойкостью. При этом среди них следует выбирать такие, которые в меньших концентрациях дают нужный цветовой эффект. Например, широко применяемый в концентрациях 1,5-2,02 г/кг пигмент "голубой фталоцианиновый" с термостойкостью 480 К следует заменить на пигмент "синий антрахиноновый ОА", термостойкость которого составляет 530 К, а нужный цветовой эффект достигается при гораздо меньших концентрациях - 0,1 ÷ 0,5 г/кг. При этом не только ликвидируется выгорание красителей и деструкция в месте сварки пластмассы, но и повышается производительность процесса и качество соединения [18].

Органические пигменты не всегда дают нужный цветовой эффект, поэтому приходится применять менее термостойкие (480-500 К) жирорастворимые красители. Но и в этом случае следует выбирать такие красители, концентрация которых могла бы не превышать 0,1-0,5 г/кг. При больших концентрациях жирорастворимых красителей свариваемость ухудшается. Это объясняется неспособностью к растворению довольно больших молекул органических красителей в полимерной основе и значительным их выгоранием. Так, например, используемый на практике жирорастворимый краситель "красный Ж" в концентрациях 2,5-3 г/кг может быть заменен на краситель "темно-красный Ж", который в концентрациях до 1 г/кг дает тот же цветовой эффект и при этом не вызывает ухудшения свариваемости материала.

При использовании неорганических красителей и наполнителей важно, чтобы они обладали высокой укывистостью и дисперсностью, что снижает их концентрацию в полимере. Так как неорганические вещества не растворяются в полимерной основе, то для соблюдения однородности свойств по всему объему изделия они должны быть равномерно распределены в ней. Поскольку более равномерное распределение красителей и наполнителей достигается при меньшей их дисперсности, то и свариваемость при этом улучшается. Экспериментально установлено, что оптимальной концентрацией неорганических красителей и наполнителей является 5-12 г/кг; отклонение от этих значений в меньшую или большую сторону приводит к понижению прочности сварных соединений [18].

В качестве примера неорганического пигмента-наполнителя можно привести литопон, который позволяет получить белый цвет, а в сочетании с другими красителями - разные непрозрачные цвета. Порошкообразный литопон обладает невысокой дисперсностью (размер частиц 1-3 мкм), недостаточной кроющей способностью (120-140 г/м²), поэтому для получения материала с требуемыми свойствами он добавляется в полимер в концентрациях 20-25 г/кг. Такое большое количество наполнителя затрудняет как отливку отдельных деталей, так и получение прочного и качественного изделия. В результате исследований для устранения указанных недостатков предложено заменить литопон диоксидом титана. Последний также представляет собой порошок белого цвета, но по сравнению с литопоном он обладает более высокими дисперсностью (размер частиц 0,2-0,8 мкм) и кроющей способностью (15-25 г/м²), благодаря чему для достижения нужного эффекта его можно вводить в полимер в меньших концентрациях (5-10 г/кг). Кроме того, диоксид титана обладает большей термостойкостью и светопогодоустойчивостью.

При использовании диоксида титана брак во время отливки деталей уменьшается на 15%, прочность сварного соединения увеличивается на 20%, а изменение прочности при длительном хранении с воздействием различных климатических условий значительно уменьшается.

При ультразвуковой сварке пластмасс по наиболее распространенной схеме (см. рис. 5.2) передача энергии ультразвука к границе раздела свариваемых деталей осуществляется через деталь, непосредственно примыкающую к рабочему торцу волновода. Это обуславливает ряд недостатков: вследствие затухания энергии ультразвука в детали, примыкающей к волноводу, к границе раздела подводится только часть вводимой механической энергии, что уменьшает производительность процесса; получение высококачественного соединения в ряде случаев зависит от геометрии свариваемых деталей,

что сужает номенклатуру изделий, которые могут быть изготовлены с помощью ультразвуковой сварки; невозможно получать стыковые, тавровые и угловые соединения большой протяженности.

В связи с этим представляется целесообразным вводить ультразвуковые колебания непосредственно в зону соединения, используя, например, сварку с применением присадочного материала (см. рис. 5.3). Разделку кромок в этом случае можно производить также за счет ультразвукового воздействия. Для этого при стыковой сварке пластин их собирают встык без зазора, фиксируют в таком положении с помощью зажимов и располагают под волноводом таким образом, чтобы продольная ось рабочего торца волновода совпала с линией стыка. Под действием статического и динамического ультразвукового усилий происходит внедрение рабочего торца волновода в изделие и формирование необходимой разделки кромок.

Эксперименты показали, что вытеснение пластицированного материала при этом происходит не только вверх с образованием грата на поверхности деталей, но и вниз, в зону контакта деталей, что приводит к провалу корня шва. Началу течения независимо от режима сварки соответствует внедрение волновода на глубину около 1,5 мм, т.е. на 25% от толщины деталей. Действительно, во всех случаях при таком внедрении наблюдалось образование провара корня шва за счет выдавленной массы. При несколько большем внедрении, равном 2 мм, наблюдалось равномерное и полное заполнение зоны контакта между деталями. Разрывная нагрузка при этом составляла 0,56 разрывной нагрузки основного материала. Из этого следует, что дальнейшее увеличение глубины разделки нецелесообразно. Заполнение разделки присадочными материалами привело к повышению несущей способности сварных соединений (рис. 5.25). При этом несущая способность оценивалась по коэффициенту прочности $K_{пр}$ как отношение разрывной нагрузки свариваемых соединений P_p к разрывной нагрузке основного материала $P_{осн}$ на образцах шириной 15 мм и длиной рабочей части 120 мм.

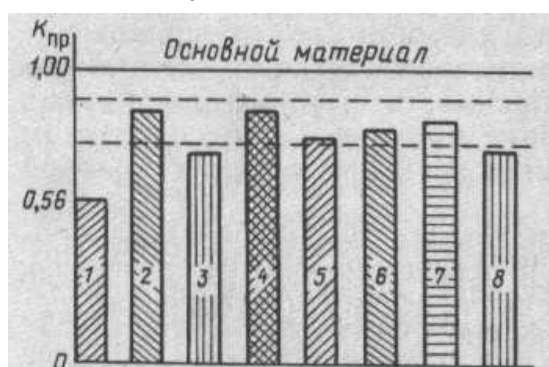


Рис. 5.25. Влияние диаметра d и числа n присадочных прутков на коэффициент прочности $K_{пр}$. Значение d (мм) и n соответственно:

1- без присадки; 2 – 5,1 и 1; 3 – 5,5 и 1; 4 – 5,7 и 1; 5 – 6,0 и 1; 6 – 4,5 и 2; 7 – 4,8 и 2; 8 – 4,3 и 3.

Из рис.5.25 видно, что варьирование числа и диаметра присадочных прутков не привело к существенному изменению коэффициента прочности, значения которого колебались в пределах 0,72-0,87. Такие колебания практически соответствуют доверительным границам для генеральной средней при уровне значимости $\alpha = 0,5$, рассчитанным с помощью критерия Стьюдента (пунктирные линии на рис. 5.25).

Таким образом, предлагаемая технология позволяет получить достаточно прочные стыковые соединения с одновременной разделкой кромок и заваркой корня шва. Способ обладает рядом преимуществ перед существующими способами сварки пластмасс с присадочным материалом [2, 10], так как отпадает необходимость механической разделки кромок, зачистки и обезжиривания их, сборки деталей на прихватках или в специальных приспособлениях, обеспечивающих

необходимый для сварки зазор между стыкуемыми кромками.

Сварка полиметилметакрилата. Большинство исследователей относят полиметилметакрилат (органическое стекло) к материалам, хорошо сваривающимся как контактной, так и передаточной ультразвуковой сваркой. Ультразвуковая сварка также широко применяется для соединения сополимеров метилметакрилата с метилакрилатом (дакрил-2М) и тройных сополимеров стирола с метилметакрилатом и акрилонитрилом (МСМ-1, МСМ-2, МСМ-3) при изготовлении приборов и светотехнической арматуры автомобилей (катафотов-отражателей).

Основная трудность, с которой приходится сталкиваться при ультразвуковой сварке полиметилметакрилата, состоит в том, что при сварке на интенсивных режимах максимальные температуры могут превышать 580°K, т.е. температуру разложения материала. Уже в первых работах [2, 10] отмечалось, что сварка полиметилметакрилата должна протекать в интервале температур 470-550°K, когда материал находится в вязкотекучем состоянии. Однако поскольку скорость нагрева в интервале температур от 340°K (переход из стеклообразного в высокоэластическое состояние) до 490°K чрезвычайно велика и составляет от 200-300 К/с (толщина образцов 10 ± 10 мм; $A = 30 \div 35$ мкм; $P_{ст} = 7,5$ МПа; $f = 20$ кГц) до 800 К/с (толщина образцов 5 ± 5 мм; $A = 48$ мкм; $P_{ст} = 12$ МПа; $f = 20$ кГц), то мгновенно остановить процесс в области температур сварки практически невозможно. Вследствие этого в сварных соединениях, получаемых при интенсивных режимах, всегда наблюдаются продукты деструкции.

Значения максимальных температур, развивающихся на границе раздела деталей, для полиметилметакрилата еще в большей степени зависят от статического давления, чем для полиэтилена. Приложение $P_{ст} > 2$ МПа приводит к такому интенсивному процессу выдавливания материала из зоны сварки, что поступающие в нее новые порции материала не успевают прогреться. Так, при $P_{ст} = 4$ МПа температура в зоне сварки не превышает температуры высокоэластического состояния. Вследствие этого прочность сварных соединений сильно уменьшается при увеличении давления.

Учитывая сказанное, сварку полиметилметакрилата следует вести на мягких режимах, когда $A \leq 20$ мкм и $P_{ст} < 1,5$ МПа. Однако низкий уровень давления не позволяет в полной мере развиться объемным взаимодействиям в зоне сварки. Поэтому для получения качественного сварного соединения следует применять цикл сварки (см. рис. 5.16,в) с переменным давлением, увеличивающимся после отключения ультразвука. Такой цикл позволяет повысить прочность соединения деталей из дакрила-2М при

изготовлении автомобильных катафотов-отражателей в 1,2 раза, а производительность процесса - в 1,5-2 раза по сравнению с таковой в процессе сварки при постоянном давлении.

Для ультразвуковой сварки полиметилметакрилата может применяться предварительная обработка свариваемых поверхностей растворителями (дихлорэтаном, хлороформом, толуолом и др.). При этом в достаточно широком диапазоне режимов ($A = 40\div 50$ мкм, $P_{ст} = 3,0 \div 5,0$ МПа) можно получить соединения, равные по прочности основному материалу. Оптимальное время действия растворителя $t_p \geq 4$ мин, при этом время ультразвукового воздействия сокращается в 4-5 раз по сравнению с временем сварки деталей, не обработанных растворителями.

Сварка винипласта. Винипласт относится к материалам, хорошо сваривающимся ультразвуком. Температура в зоне сварки должна составлять 473-533°K, а время пребывания при этой температуре не должно быть слишком большим, так как при температурах свыше 413°K может происходить разложение материала.

Ультразвуковая сварка винипласта может применяться для получения нахлесточных соединений листов толщиной до 10 мм, стыковых соединений отрезков стержней и труб небольшого диаметра длиной до 60 мм, угловых и тавровых соединений. Наилучшие результаты получаются при сварке листов внахлестку точечными швами. При диаметре точки 15 мм максимальная прочность сварных соединений листов толщиной 10 + 10 мм на сдвиг (до 80-90% от прочности основного материала) достигается в широком диапазоне режимов: $A = 40\div 70$ мкм;

$P_{ст} = 1,2 - 1,3$ кН; $t_{св} = 1,3\div 2$ с. Длина нахлестки при этом не должна значительно превышать диаметр точки сварного шва, так как это не приводит к повышению прочности сварного соединения на сдвиг:

| | | | |
|--|-----|-----|-----|
| Длина нахлестки, мм..... | 15 | 30 | 45 |
| Прочность сварной точки на сдвиг, кН | 2,3 | 2,2 | 1,6 |

П р и м е ч а н и е : диаметр рабочего торца волновода 15 мм; ширина нахлестки 15 мм; материал - винипласт толщиной 5 мм; продолжительность сварки 1,4 с, усилие 1,3 кН.

Использование метода точечной ультразвуковой сварки при изготовлении крупногабаритных панелей из винипласта позволяет увеличить производительность процесса соединений приблизительно в 10 раз по сравнению с производительностью при сварке газовыми теплоносителями с присадочным прутком.

Несколько худшие результаты получаются при сварке нахлесточных соединений ножевыми волноводами поперек нахлестки. В этом случае прочность на сдвиг может быть повышена более чем в 2 раза, а разброс прочностных показателей уменьшен за счет зачистки свариваемых поверхностей грубой шкуркой (в числителе - максимальная, в знаменателе - минимальная прочность на сдвиг, кН):

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| Сварка без зачистки поверхности | 2,25/0,95 |
| Сварка с зачисткой поверхности..... | 3,50/1,90 |

П р и м е ч а н и е : число испытанных образцов 15; толщина листов 5+5 мм; статическое усилие 1 кН; амплитуда 48 мкм; время сварки 5 с.

При ультразвуковой сварке стыковых соединений определяющим фактором является величина $P_{сж}$. При малых ее значениях прочность соединений остается невысокой при любых изменениях параметров режима сварки. С увеличением усилия сжатия возрастает и прочность соединений. Экспериментальным путем установлено, что наибольшая прочность стыковых соединений достигается при $P_{сж} = (0,5 \div 0,7) P_{ст}$ [18, 21].