

Сущность процесса сварки пластмасс трением

Сварка трением основана на превращении механической энергии трения в тепловую энергию. Поскольку пластмассы обладают низкой теплопроводностью, от зоны контакта деталей, подвергающихся трению, отводится незначительное количество тепла, поэтому нагрев их происходит быстро. Используют сварку трением вращения соединяемых деталей и сварку путем колебательных движений одной детали относительно другой – сварку вибротрением. Сварку трением вращения применяют при соединении деталей, имеющих форму тел вращения. Вибротрением можно сваривать несимметричные детали практически любой конфигурации. Во всех случаях процесс состоит из двух стадий: нагрева и осадки.

На стадии нагрева детали приводят в плотный контакт друг с другом за счет приложения давления и осуществляют их взаимное перемещение. В начале процесса за счет давления, приложенного к деталям, и высоких скоростей относительного перемещения свариваемых деталей происходит разрушение микронеровностей в зоне контакта. Затем разрушаются поверхностные пленки и во взаимодействие вступают чистые поверхности. Это приводит не только к заметному выделению тепла, но и к образованию очагов схватывания. Термопластичный материал деталей переходит в вязкотекучее состояние. В конце процесса устанавливается равномерный режим нагрева и оплавления, сопровождающийся адгезией по всей поверхности контакта. При накоплении в стыке необходимого количества расплава процесс трения прекращается, и детали сжимаются (осаживаются).

В зависимости от условий нагрева свариваемых поверхностей сварку пластмасс трением выполняют по трем схемам:

1. вращением свариваемых деталей или промежуточного элемента – сварка вращением;
2. вибрацией свариваемых деталей или промежуточного элемента – сварка вибротрением;
3. вращательно-вибрационным движением свариваемых деталей или промежуточного элемента.

На рис.8.1 представлены разные схемы сварки трением вращения. На рис.8.1, а одна из деталей закреплена неподвижно, а вторая вращается. На сопряженных торцевых поверхностях возникают силы трения, вызывающие

интенсивный нагрев и оплавление торцов. При накоплении в стыке необходимого количества расплава вращение прекращают, и производится осадка до образования сварного соединения.

Схема, при которой детали вращаются в разные стороны (рис.8.1, б), не нашла практического применения из-за технических сложностей. Длинные и громоздкие детали, вращение и быстрое торможение которых затруднительно, сваривают при помощи третьей, промежуточной детали (вставки). Для этого длинные детали закрепляют неподвижно, а вставку вращают вокруг общей оси свариваемых деталей (рис.8.1, в). После разогрева кромок свариваемых деталей до вязкотекучего состояния вставка удаляется из стыка, после чего выполняется осадка деталей, или остается в сварном шве после расплавления и осадки.

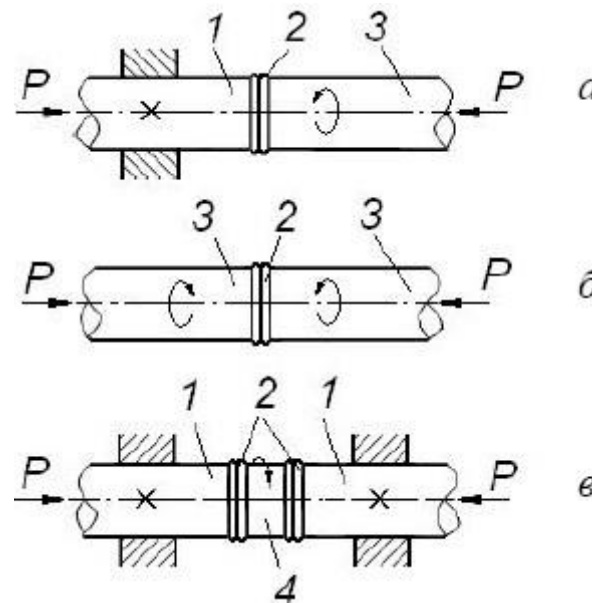


Рис.8.1. Схемы сварки трением с использованием вращения одной детали (а), обеих деталей (б) и вставки (в): 1 – неподвижная деталь; 2 – сварной шов; 3 – вращающаяся деталь; 4 – вставка

Наибольшее применение нашла схема сварки с вращением одной детали. Преимущество способа сварки термопластов трением состоит в том, что при трении в месте контакта разрушаются все поверхностные пленки, образовавшиеся до начала процесса сварки. В процессе сварки расплав защищен от влияния атмосферы, за счет чего в значительной степени исключены процессы окисления макромолекул, находящиеся в активированном состоянии. Для осуществления соединения термопластов при сварке необходимо:

1. повышение активности макромолекул сопрягаемых слоев деталей с целью перевода их в вязкотекучее состояние;
2. удаление с поверхности адсорбированных веществ, загрязнений и оксидных пленок с целью создания ювенильных поверхностей;
3. создание физического контакта сопрягаемых поверхностей до полного контакта по всей плоскости.

При сварке термопластов трением первое условие выполняется за счет преобразования механической работы трения в тепловую энергию. Второе условие реализуется при износе поверхностей в процессе трения и эвакуации из зоны контакта свариваемых деталей загрязнений радиальными силами. Третье условие выполняется путем сжатия сопрягаемых деталей как в процессе нагрева, так и при осадке.

Сварка трением может применяться практически для всех термопластов: полиолефинов, полиамидов, полиметилметакрилата, полистирола и др. Сварка трением обладает рядом достоинств: высокой производительностью, малым потреблением энергии и мощности, высоким качеством сварного соединения, стабильностью качества сварных соединений, возможностью сварки разнородных пластмасс, гигиеничностью процесса, простотой конструкций оборудования, легкостью механизации и автоматизации процесса.

В последнее время нашла применение сварка вибротрением, особенно для соединения несимметричных деталей. При этом деталям, находящимся в контакте под некоторым давлением, придают возвратно-поступательное движение в плоскости стыка, либо вокруг определенной оси.



Технология и параметры режима сварки пластмасс трением

Мощность трения прямо пропорциональна скорости вращения, контактному давлению, коэффициенту трения и радиусу трущихся поверхностей. Из этого следует, что на стадии нагрева и на стадии осадки основными технологическими параметрами режима сварки трением являются:

- частота вращения (n , об/с);
- усилие сжатия деталей в процессе трения (давление при нагреве - P_n , МПа);
- время трения (время нагрева до температуры сварки - t_n , с);
- усилие осадки ($P_{ос}$, МПа).

Частота вращения и давление при нагреве взаимосвязаны и выбираются таким образом, чтобы за время нагрева не произошло перегрева и деструкции материала в зоне сварки. Обычно время нагрева составляет 3–25 с. Для кристаллических полимеров с узким температурным интервалом вязкотекучего состояния оно может быть уменьшено до 0,5-1 с. При этом скорость вращения в зависимости от свариваемых материалов и геометрии деталей может изменяться в широких пределах: от 0,15 до 3 м/с.

Давление на стадии осадки выбирают меньшим, чем при сварке нагретым инструментом, так как загрязнения и оксидные пленки при сварке трением удаляются из сварочной зоны ещё на стадии нагрева. Кроме того, в этом случае оказывается большей и глубина проплавления. Обычно давление осадки составляет 0,07-1,4 МПа.

Оптимальные параметры режима сварки зависят от многих факторов даже для одного и того же материала. Лучшие механические свойства шва достигаются при более продолжительном нагреве.

Прочность сварного соединения мало зависит от осевого давления в диапазоне 0,1-0,6 МПа. При меньшем давлении свойства соединения оказываются нестабильными, более низкого качества, но вместе с тем применение высоких давлений также нежелательно. Высокое давление вызывает выдавливание всего расплава из зоны стыка. Последнее приводит к тому, что механические свойства шва резко снижаются. Следовательно, осевое давление при сварке должно быть оптимальным.

Наиболее типичные циклограммы изменения параметров режима сварки трением вращения показаны на рис.8.2. 2

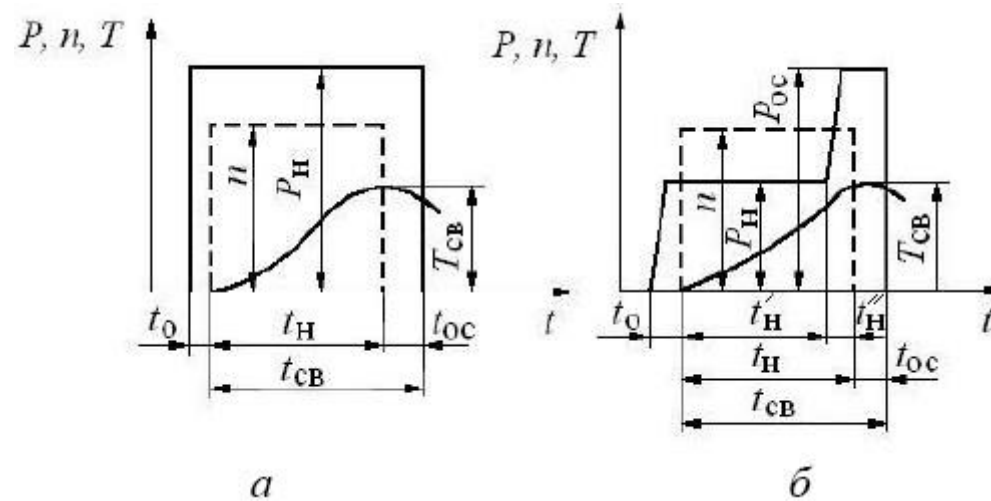


Рис.8.2. Циклограммы процесса сварки трением вращением: t_0 – время отставания включения вращения; t_H – время нагрева; t_{OC} – время осадки; t_{CB} – время сварки; P_H – усилие сжатия при нагреве; P_{OC} – усилие сжатия при осадке; n – частота вращения; T_{CB} – сварочная температура; а – циклограмма процесса сварки трением при постоянном усилии сжатия; б - циклограмма процесса сварки трением при переменном усилии сжатия

Для повышения качества сварных соединений желательно применять сварочный цикл с переменным давлением (рис.8.2, б). На стадии нагрева оно должно составлять 0,2-0,6 давления на стадии осадки.

При сварке кристаллических полимеров с узким интервалом плавления следует ограничить время торможения шпинделя сварочной установки после окончания стадии нагрева. В противном случае вращение в процессе остывания термопласта может привести к зарождению в сварочной зоне надрывов.

Большое значение при сварке трением имеет геометрия стыкуемых поверхностей. Так как окружная скорость точки вращающейся поверхности зависит от расстояния её до центра вращения, то мощность трения, а следовательно, и тепловыделение распределены неравномерно по поверхности трения. Поэтому- му при сварке больших диаметров сплошного сечения для обеспечения большей равномерности разогрева по сечению торцы деталей должны иметь уклон 1-1,50 или кривизну с выпуклостью по оси. Из этих же соображений сварка кольцевых стыков, как это имеет место при сварке труб, более предпочтительна, чем сварка сплошных поверхностей.

При сварке деталей небольшого сечения с массивными тепло, выделяющееся в зоне трения, отводится в массивную деталь, что приводит к несимметричному распределению температур. В этом случае рекомендуется на массивной детали выполнять переходные выступы, соответствующие по размерам детали меньшего сечения (рис.8.3). Такой прием используют, например, при соединении труб и стержней с плитами, при приваривании к трубам фланцев. Длина выступа составляет 0,7-1,0 толщины стенки трубы.

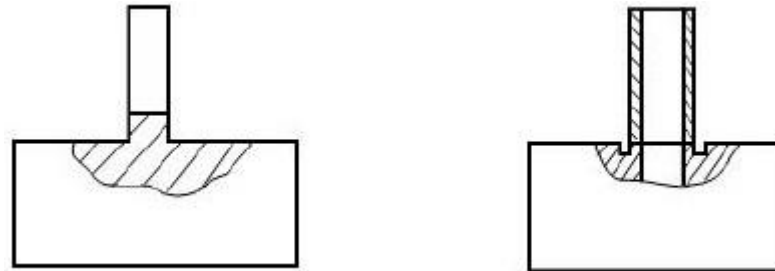


Рис.8.3. Примеры подготовки к сварке стыков различного сечения

При сварке труб часто применяют фасонные разделки стыкуемых поверхностей (рис.8.4). Такие разделки позволяют увеличить площадь контакта стыкуемых поверхностей. Кроме того, обеспечивается более точная центровка стыка по всему периметру и предотвращается смещение кромок.

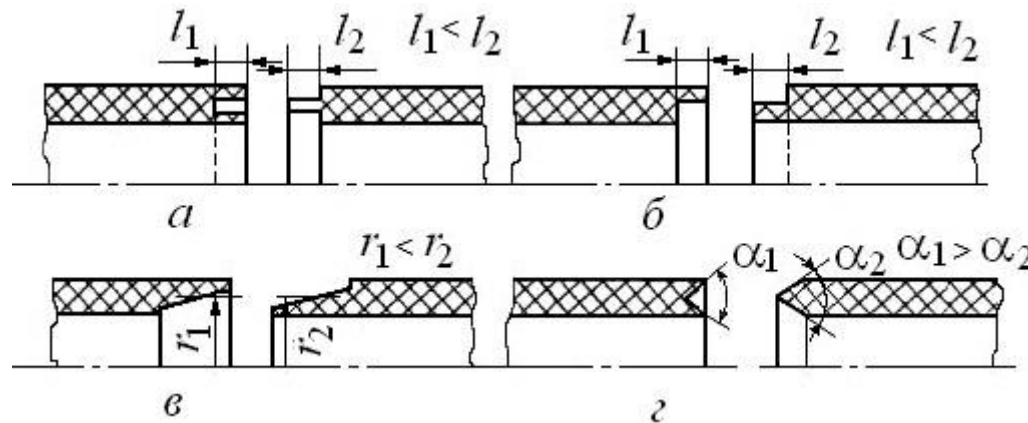


Рис.8.4. Типы разделки кромок при стыковой сварке труб вращением: а – «шип в паз»; б – уступом; в – «на ус»; г – V – образная

При конструировании деталей, подлежащих сварке, необходимо предусматривать в зоне свариваемых кромок специальные компенсационные зазоры и пазы для выдавливания грата.

Трением можно сваривать подавляющее большинство термопластов, имеющих стабильную вязкость в широком интервале температур: полиолефины, полиамиды, полиметилметакрилат, полиформальдегиды, полистирол, поликарбонаты и др. Параметры режима сварки некоторых из них представлены в табл. 8.1 и 8.2.

Перед сваркой трением детали из полиамидов и поликарбонатов необходимо подвергать нагреву. Этим полимерам свойственна повышенная гигроскопичность, они поглощают влагу из воздуха. Сварка влажных деталей не дает высокой прочности соединений.

Лучше поддаются сварке трением детали из жестких пластмасс (модуль упругости ≥ 103 МПа).

При сварке вибротрением основными параметрами режима являются амплитуда и частота колебаний. Обычно используются низкочастотные колебания в диапазоне 50-400 Гц. Амплитуда при возвратно-поступательном колебательном движении в плоскости стыка составляет 1-4 мм, а угол поворота при колебаниях с поворотом вокруг оси – сотые доли радиана.

Таблица 8.1 Параметры режима сварки трением некоторых термопластов

Материал	Окружная скорость, м/с	Осевое давление, МПа
Полиэтилен	1,5-3,0	0,2-0,5
Полиоксиметилен	0,13-0,41	0,6-1,0
Полипропилен	1,5-3,0	0,2-0,5
Полиоксифенилен	0,5-0,83	1,0-1,5
Поливинилхлорид	1,3-2,5	0,3-0,8

Таблица 8.2 Параметры режима сварки трением труб из различных термопластов

Материал	n , об/с	P_H , МПа	$P_{ос}$, МПа	t_H , с
ПВХ	9,6	1,2	1,8	35-39
ПЭНД	8,7	1,0	1,5	25-85
ПП	9,1	1,0	1,2	30-90
ПА	9,3	0,8	1,0	28-70

Отличительными чертами сварки вибротрением являются возможность сварки несимметричных деталей и равномерное тепловыделение по всей плоскости стыка. Продолжительность сварки практически не зависит от толщины и размеров свариваемых деталей и составляет 6-10 с. Давление сжатия деталей 2-10 МПа; осадка 0,3-0,4 мм.

Сваркой вибротрением соединяют не только хорошо сваривающиеся термопласты, но и фторлоны, полиэфирные эластомеры и другие полимеры, которые не свариваются ультразвуком. Размеры соединяемых деталей в плане составляют от 30x30 до 300x300 мм. Способ нашел широкое распространение при изготовлении резервуаров, водопроводной арматуры, крыльчаток насосов, помп и т.д.



Оборудование для сварки пластмасс трением и вибротрением

Сварку трением вращения осуществляют на различных металлообрабатывающих станках (токарных, сверлильных, фрезерных) и на специальных сварочных машинах. Могут использоваться машины типа МСТ, предназначенные для сварки трением металлических деталей. Все установки, применяемые для сварки трением

вращения, состоят из привода вращения; механизма для остановки вращения изделия; механизма для создания осевого давления; зажимного приспособления; системы воспринимающей осевое усилие; аппаратуры управления.

Остановка вращения шпинделя осуществляется фрикционно-тормозным механизмом, в этом случае двигатель работает непрерывно. Зажимные приспособления могут быть различными. Так, станки для мел-косерийного или единичного производства снабжены кулачковыми патронами с ручным зажимным механизмом или используются самозажимные цанги. Механизм для создания зажимного усилия выполняется пружинным, пневматическим или гидравлическим. Осевое усилие воспринимается упорными или радиально-упорными подшипниками.

Основным элементом установок для сварки вибротрением является вибратор, который приводится в действие электродвигателем через кривошипно-кулачковый или другие механизмы.

Оборудование для сварки деталей из термопластов трением вращения можно подразделить на оборудование, имеющее горизонтальную ось вращения (например, машины для сварки трубопроводов) и вертикальную ось вращения (например, станки для сварки бутылей, тары для консервации, мелких деталей).

Полуавтоматы общего назначения типа МСТ имеют горизонтальную ось вращения свариваемых деталей. Примером такой установки является настольная малогабаритная установка, предназначенная для сварки деталей диаметром до 70 мм и состоящая из механизмов центрирования свариваемых деталей относительно их осей вращения, сжатия свариваемых деталей при нагреве и осадке по окончании сварки, электродвигателя, ременного привода. Все эти узлы крепятся в сварном металлическом корпусе. Свариваемые детали закрепляются в стаканах, передающих им крутящий момент.

Для обеспечения высокого качества сварного соединения нельзя допустить, чтобы в процессе сварки (осадки) происходило вращение одной детали относительно другой. Применяют две кинематические схемы. Одна схема обеспечивает торможение вращающегося патрона с деталью после нагрева (оплавления) свариваемых поверхностей перед осадкой. По второй схеме торможение после окончания нагрева происходит за счет трения при вращении одной детали относительно другой, находящейся в неподвижном состоянии в процессе нагрева. В процессе осадки неподвижная деталь спускается с тормоза и начинает вращаться со скоростью первой детали,

т.е. в стыке не происходит смещения одной детали относительно другой. Для дозирования энергии, идущей на вращение одной детали относительно другой, может быть использована энергия, запасенная в маховике. После разгона маховик соединяется кинематически с вращаемой деталью. Массу и скорость вращения последнего выбирают такими, чтобы полное торможение и остановка массы происходили в момент расплавления термопласта по свариваемой поверхности, в этот момент может быть произведена осадка.

В случае, если соединяемые детали имеют иные формы, можно использовать сварку вибротрением, для выполнения которой разработан ряд схем. В основном это механические системы, обеспечивающие возвратно-поступательное или угловое перемещение одной детали относительно другой. Трение может осуществляться также с помощью электромагнитных или акустических систем.

Амплитуда смещения составляет максимум 4-8 мм при частоте до 120 Гц, хотя имеется тенденция к повышению частоты до 250-300 Гц и уменьшению амплитуды до 0,75-1,5 мм. Благодаря уменьшению амплитуды тепло, выделяющееся вследствие трения детали о деталь, концентрируется в более узкой зоне благодаря уменьшению площади участков нагрева, оголяемых в процессе возвратнопоступательного смещения деталей, что ускоряет переход термопласта в текучее состояние и позволяет получить сварное соединение с меньшим допуском и лучшего внешнего вида (меньше грат, меньше смещение кромок).

