

Расширение применения термопластичных полимерных материалов (ПМ) в строительстве, трубопроводном транспорте, автомобилестроении, производстве различных емкостей, аппаратов, товаров для спорта и отдыха, медицинской техники и т. д. заставляет специалистов все чаще обращаться к сварке как к одному из важнейших методов образования соединения составных частей изделий и конструкций. Решение проблем изготовления изделий и конструкций с оптимальными эксплуатационными характеристиками требует обоснованно подходить к выбору метода сварки, ее режима, оборудования и приспособлений, метода контроля качества сварного шва. При этом в первую очередь возникает необходимость всестороннего учета состава и свойств ПМ, поступающих на сварку.

Рабочая зона машины для сварки вибротрением с предварительным подогревом места соединения ИК-излучением (при сварке вибротрением деталей из материалов, наполненных короткими волокнами, предварительный подогрев позволяет предотвратить их выдавливание из сварного шва и улучшить тем самым его внешний вид) (фото: bielomatik)



Состав и свойства полимерных материалов, влияющие на их свариваемость

Г. В. Комаров, д. т. н., МАТИ – РГТУ имени К. Э. Циолковского

Специфика свойств ПМ обусловлена их составом и структурой. ПМ в составе свариваемых деталей или элементов конструкции имеет, как правило, оптимальные с точки зрения условий эксплуатации структуру и свойства, созданные в процессе изготовления этих деталей или полуфабрикатов. После сварки ПМ редко подвергается дополнительному технологическому воздействию. Чтобы в зоне сварного шва сохранить структуру и вместе с ней свойства ПМ, сварщики должны представлять, с каким материалом они имеют дело. В связи с этим даже при ускоренном и сокращенном обучении на курсах и в школах сварки ПМ изучению особенностей их свойств и поведения уделяют значительное внимание.

Влияние состава полимерного материала

Очень важно иметь в виду, что ПМ – многокомпонентны и неоднородны по структуре на микро- и (или) макроуровне. Состав ПМ отражается как на свариваемости, так и на поведении сварного соединения. Поэтому его нужно в достаточной степени знать как сварщику, так и пользователю сварным изделием или конструкцией. И в первую очередь требуется информация об основном компоненте ПМ – полимере, независимо от его содержания в ПМ.

Сварке в расплаве подвергаются ПМ на основе термопластов – полимеров с линейной или разветвленной структурой макромолекул. Другие компоненты улучшают или придают то или иное свойство ПМ, в том числе могут

влиять на его свариваемость. Под свариваемостью преимущественно понимают способность реализовать свойства ПМ в сварном соединении. Эта реализуемость зависит от предыстории ПМ, выбранного метода сварки, конструкции соединения, условий работы изделия. Если на производство поступает ПМ на основе термопласта, то это означает, что он может свариваться, по крайней мере, в расплаве. Спецификой современной отечественной промышленности полимерных материалов является то, что сваркой стали заниматься на производствах, на которых мало знакомы с ПМ, а порой даже не знают, что за полимер служит основой ПМ, не говоря уж о других его компонентах.

Однако свариваемость зависит не только от свойств полимера в составе ПМ. Если стоит задача изготовления ответственного изделия или конструкции, то сварщику и (или) пользователю требуются еще более широкие и глубокие знания о составе ПМ. Дело в том, что в нем могут быть компоненты, которые играют важную роль в улучшении свариваемости. К ним относятся, например, пластификаторы. Можно, конечно, не интересоваться составом ПМ, если искать оптимальный вариант сварки чисто экспериментальным путем. Но, тем не менее, на стадии выбора ПМ для сварного изделия нужно полнее оценить его состав, чтобы еще до эксперимента выбрать группу лучше сваривающихся ПМ.

Сложное влияние может оказывать наполнитель. Как вещество, повышающее вязкость расплава, он почти



всегда ухудшает свариваемость ПМ. Если в составе ПМ находится армирующий наполнитель на основе непрерывных волокон, то проблема реализуемости в сварном соединении характеристик такого ПМ, являющегося по сути конструкционным полимерным композиционным материалом (ПКМ), значительно усложняется. Причиной этого является, во-первых, возможность нарушения ориентации волокон при сварке в расплаве. Кроме того, в высоконаполненных ПКМ, со сваркой которых в последнее время столкнулись некоторые предприятия, поверхностный слой может быть обеднен матрицей, что затрудняет прохождение необходимых реологических процессов в зоне шва. В этом случае решение проблемы изготовления качественного соединения можно найти в дополнительном введении между соединяемыми поверхностями слоя из полимера, аналогичного полимеру деталей или совместимому с ним.

Если в составе ПМ имеются добавки, призванные стабилизировать его работу в процессе эксплуатации готового изделия, то нужно оценить, во-первых, не будет ли сварной шов обеднен стабилизатором, особенно после высокотемпературной и длительной сварки, и во-вторых, не потребуются ли изыскивать метод обеспечения одинакового содержания стабилизатора в основном материале и в шве.

Встречаясь с фактами неодинаковой свариваемости ПМ, выпускаемых по одним и тем же стандартам или

техническим условиям, иногда нелишним является анализ возможности присутствия в полимере компонентов, которые появились в нем в процессе его синтеза или привнесены в результате адсорбции (например, воды) из окружающей среды.

Даже такой кажущийся однородным материал, как ненаполненный ПЭ, в своем составе, кроме полимера, содержит компоненты с низкой когезионной прочностью. Их присутствие необходимо учитывать в первую очередь при склеивании, о чем писал еще в 1970-е гг. *Бикерман*, критикуя работы российских специалистов, занимающихся вопросами адгезии. Но как показали исследования, проведенные Группой «Полипластик», эти компоненты влияют и на свариваемость. *Бикерман* говорил о низкомолекулярных продуктах полимеризации этилена, таких как линолевая и линоленовая кислоты, и о их влиянии на склеиваемость полиэтилена (ПЭ). Исследователи из Группы «Полипластик», изучая трубные марки ПЭ и обсуждая влияние летучих веществ углеводородной природы на качество труб, указали на их плохую свариваемость при значительном содержании этих летучих веществ (см. журнал «Полимерные трубы». – 2014. – № 1. – С. 46–49).

Поскольку во многих работах причины высокопрочного сварного соединения объяснены образованием химических связей между макромолекулами соединяемых полимеров (например, при сварке трением, при ультра-

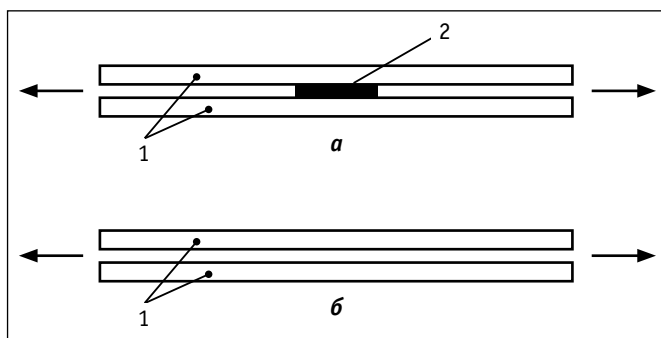


Схема испытания для оценки изменения прочности при растяжении ПМ в сварном соединении (а) по сравнению со свойствами основного материала (б): 1 – соединяемые материалы; 2 – сварной шов

звуковой сварке, при высокотемпературной сварке нагретым инструментом и т.д.), то важно на предварительном этапе давать оценку возможности прохождения химических реакций.

Если желательно провести сварку при более мягких условиях, чем при сварке в расплаве, то можно вспомнить об ее альтернативе – химической сварке. Анализ химической структуры полимера детали дает возможность целенаправленно выбрать присадочный реагент, обеспечивающий образование химических связей между макромолекулами.

Давая оценку состава ПМ, нужно учитывать опасность его изменения при хранении и (или) транспортировке деталей или полуфабрикатов перед сваркой. При этом наибольшие изменения по сравнению с исходным составом претерпевает поверхность деталей. Когда условия хранения деталей и состояние поверхности не контролируются, то рекомендуется свариваемую поверхность «освежать» снятием поверхностного слоя.

Сварке подвергают однородные ПМ. Даже ПЭ разной плотности, первичный и вторичный ПЭ отнесены (и не только сварщиками) к разнородным ПМ и требуют учета их практической несовместимости при сварке. Однако потребность в сварке разнородных ПМ возрастает, и сварщики постоянно работают над расширением ее возможностей. Такую возможность предоставил, например, созданный в 1991 г. в Великобритании метод сварки трением вращающимся стержнем. Стержень в зоне стыка двух свариваемых деталей обеспечивает механическое смешение вязкой массы ПМ и быстрое охлаждение смеси, препятствующее ее разделению. Таким образом создается условие для кинетической совместимости чужеродных полимеров.

Влияние свойств полимерного материала

В процессе подготовки к сварке и во время ее осуществления различными методами ПМ подвергается различным физическим и химическим воздействиям. Поэтому сварщик ПМ должен знать весь комплекс специфических свойств ПМ, которые влияют на конструирование соединения, построение технологического процесса сварки, выбор его параметров и на качество сварных соединений.

Сварке в расплаве подвергают преимущественно ПМ с изотропными механическими свойствами. Основными объектами сварки в производстве изделий из ПМ являются трубы, пленки и листовые детали. Расширяется,

благодаря усилиям главным образом автомобилестроителей, сварка фасонных деталей. При сварке этих объектов имеется много общего, но есть и специфика для каждого из этих объектов.

Если сваривают ориентированные термопласты, то приходится учитывать анизотропию механических свойств, например, при конструировании сварного соединения и при оценке его прочности. Сварка в расплаве ориентированного термопласта приводит к потере ориентации материала в зоне шва, в результате чего прочность соединения может сильно отличаться от прочности исходного ПМ. Возможность реализуемости в сварном соединении прочности полимерных пленок, которые в большем объеме, чем трубы, подвергаются сварке, была проанализирована Тростянской, Комаровым и Цараховым еще 40 лет назад (см. журнал «Механика полимеров». – 1974. – № 1. – С. 55–59). Было показано, что при желании сохранить ориентированную структуру пленок в зоне шва необходимо учитывать его форму. Если изготавливается Т-образный шов, то рекомендовано осуществлять максимальную разориентацию ПМ. При сварке же нахлесточного соединения ориентацию необходимо по возможности сохранить, выбирая соответствующий метод сварки, который позволяет локализовать зону сварки.

Во многих предыдущих работах снижение прочности сварного нахлесточного соединения пленок и тонколистовых ПМ по сравнению с прочностью основного материала пытались объяснить изменением структуры и свойств ПМ в зоне шва. Причиной снижения считали негативное термическое действие параметров режима сварки. При этом надежные доказательства правоты этого предположения не приводились. В упомянутой нашей работе показано, что, используя в качестве критерия оптимальности режима сварки прочность соединения, необходимо для оценки полученных результатов подходить с позиций механики разрушения, т. е. надо сравнивать напряженное состояние в растянутом материале и в сварном соединении. Было обнаружено, что указанное снижение прочности в первую очередь вызвано концентрацией напряжений в зоне перехода от слоя пленки к шву. Если эту концентрацию устранить, например, расплющиванием зоны нахлесточного шва, как было показано в свое время в лаборатории сварки ПМ в Научно-исследовательском институте авиационных технологий (НИАТ), прочность сварного соединения возрастает.

Сделанные выводы позволили предложить метод оценки воздействия параметров режима сварки на ПМ, основанный на испытании при растяжении дублированных пленок со швом посередине и сравнении полученных результатов с прочностью образцов из двух просто сложенных, но не сваренных пленок (см. рисунок). Эффективность метода подтверждена на различных материалах.

Общая деформация термопластов, т.е. ПМ с линейной и разветвленной структурой макромолекул, при нагружении включает упругую, эластическую и пластическую составляющие, величина и доля которых зависит от уровня напряжений и температуры. Такое специфическое деформационное поведение указанных ПМ необходимо учитывать не только при выполнении сварки в расплаве

Новые ультразвуковые сварочные системы типа USP

(нагрев соединяемых участков до вязкотекучего состояния), но и при подготовке к ней. Так, правку и (или) подгонку неправильно хранившихся или транспортируемых перед сваркой деталей необходимо осуществлять, нагревая их деформированные участки (например, концы труб и соединительных деталей) до вязкотекучего (пластического) состояния и используя специальные приспособления. Только механическая правка (без подобного нагрева) может привести к появлению в ПМ эластических деформаций, которые будут релаксировать в процессе сварки и эксплуатации сварного изделия.

Из негативных механических свойств ПМ сварщик всегда должен считаться с их низкой твердостью и чувствительностью к концентраторам напряжений. Кроме того, конструктор изделия при выборе ПМ должен учитывать сравнительно низкую прочность, низкий модуль упругости, ползучесть при постоянной нагрузке или хрупкость при низких температурах и другие негативные свойства ряда термопластов. Сварщик должен сохранить эксплуатационные свойства ПМ в сварном изделии и знать, как нужно при сварке содействовать достижению этой цели. Низкую твердость ПМ учитывают при формулировании требований к металлическим элементам сварочной оснастки и инструментов (отсутствие заусенцев, острых кромок), к отсутствию абразивных загрязнений на монтажных приспособлениях, к соблюдению мер предосторожности во время монтажа и сварки. Все это необходимо, чтобы не вызвать появления на поверхности ПМ царапин и вмятин, служащих концентраторами напряжений.

Если признать, что сущность сварки заключается в заполнении межконтактного зазора между соединяемыми поверхностями материалом деталей, то задача сварщика состоит в получении такой же монолитности шва, как и у стенки деталей. Если обратиться к описанию дефектов в изготовленных различными методами сварных соединениях, наиболее полно представленных в нормах DVS, то легко убедиться, что почти все они представляют нарушения монолитности (трещины, поры, непровары, пустоты), резкие переходы в сечении или другие концентраторы напряжений.

При проектировании и прогнозировании поведения сварного соединения, выборе параметров процесса тепловой сварки труб, пленок, фасонных деталей и др. для сварщика важно представлять особенности теплофизических свойств ПМ, чтобы затем адекватно проанализировать экспериментальные данные. К этим особенностям в первую очередь относятся низкая теплопроводность и высокий коэффициент линейного теплового расширения (КЛТР). Из-за низкой теплопроводности ПМ трудно подвести теплоту сквозь стенку детали к месту сварки. Чем больше толщина стенки, тем выше градиент температур по толщине, выше продолжительность нагрева или охлаждения после завершения сварки. Если обратиться к истории сварки ПМ, которая описана автором в «Словаре-справочнике по сварке и склеиванию пластмасс» в 1988 г., то можно констатировать, что до 1988 г. и в последующие годы развитие тепловой сварки шло по пути ограничения зависимости качества сварных соединений от теплопроводности ПМ или по пути ее исключения из числа влияющих факторов.

(Окончание на с. 51)



Посетите нас
на выставке
FAKUMA 2015
с 13-17
октября 2015
Павильон А4
Стенд 4112

ПРЕИМУЩЕСТВА

- ▶ Выбор различных режимов сварки для достижения качественных соединений полимерных материалов
- ▶ Управление процессом сварки и получение статистического анализа
- ▶ Высокая точность и качество сварки
- ▶ Эргономичность и удобность в эксплуатации
- ▶ Быстрая смена комплектующих для сварки различных деталей
- ▶ Надежность и простота в обслуживании

Наша фирма-представитель
в России ООО «ТЦ Виндэка»,
www.windeg.ru,
info@windeg.ru

TELSONIC AG,
Switzerland
info@telsonic.com
www.telsonic.com

(Окончание. Начало на с. 44)

Достаточно вспомнить, как развивалась сварка нагретым газом (главным образом, воздухом). Так, чтобы обеспечить предварительный нагрев основного и присадочного материалов, в технологический процесс было введено обмахивание струей нагретого воздуха как прутка, так и свариваемого материала. Затем стали использовать насадки на наконечник сварочного аппарата, обеспечивающие более контролируемый, чем обмахивание, подогрев прутков и основного материала. При сварке встык листов и труб быстро пришли к использованию прямого нагрева, при котором низкая теплопроводность ПМ является положительным свойством. А затем прямой нагрев стали применять при сварке трением, излучением, при сварке труб в раструб, при ультразвуковой сварке, сварке закладным нагревателем, сварке нагретым газом. Одними из первых предварительный нагрев применили в лаборатории сварки НИАТ при решении проблемы соединения толстостенных деталей из политетрафторэтилена. Его высокая вязкость позволила производить контактный подогрев свариваемых поверхностей нагретым инструментом одновременно по всей их площади, не опасаясь выдавливания расплава из зоны контакта. В настоящее время появились технологии, когда подогрев осуществляется одним способом, а нагрев в процессе сварки другим. Главная цель этих разработок – ускорение процесса сварки, иногда – повышение качества сварного шва. Например, предварительный подогрев ИК-излучением места соединения деталей из материалов, наполненных короткими волокнами, позволяет предотвратить их выдавливание из сварного шва при сварке вибротрением (см. фото у заголовка статьи).

Высокое значение КЛТР у ПМ, которое, например, у ПЭ и ПП приблизительно в 20 раз выше, чем у стали, необходимо учитывать при проектировании процесса сварки (особенно крупногабаритных конструкций), прогнозировании поведения сварного соединения, при анализе результатов экспериментов. Именно с учетом рассматриваемого свойства рекомендуется при экструзионной сварке укрывать шов теплоизолирующим покрытием для релаксации остаточных термических напряжений в шве.

В заключение необходимо подчеркнуть, что поднимая тему, вынесенную в заголовок статьи, автор также хотел обратить внимание специалистов (особенно молодых), занятых в области сварки ПМ, на важнейшую роль, которую играют состав и специфические свойства ПМ при выборе способа и режима сварки, и на их влияние на качество сварных соединений. Дополнительную и более подробную информацию на эту тему можно найти в монографии автора «Соединения деталей из полимерных материалов» (СПб: Профессия, 2006. – 592 с.).

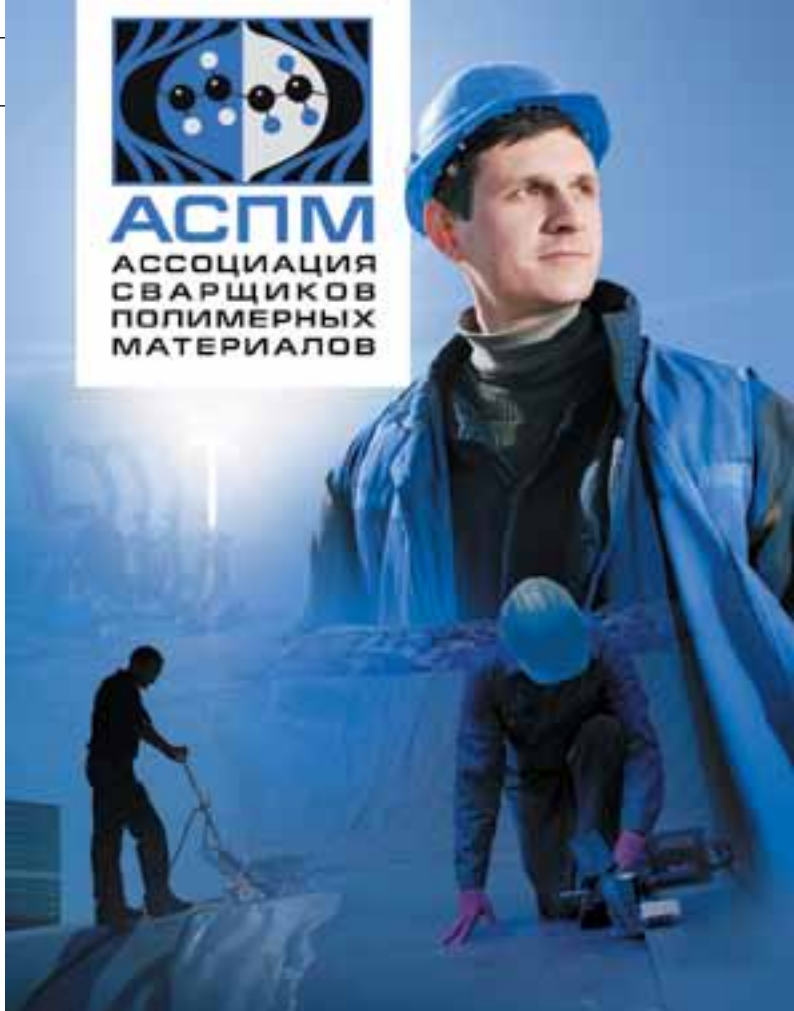
Structure and Properties of Polymer Materials Influencing their Weldability

G. V. Komarov

The solution of problems of thermoplastic welding demands to approach a choice of welding method, its mode, the equipment and adaptations reasonably. Thus first of all it is necessary to consider structure and properties of the welded plastics. These questions are discussed in this article.



АСПМ
АССОЦИАЦИЯ
СВАРЩИКОВ
ПОЛИМЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ



Возможности членов АСПМ:

- Получение информации «из первых рук» по всем разрабатываемым нормативам в области сварки полимерных материалов;
- Возможность участвовать в обсуждении нормативных документов и влиять на их содержание;
- Участие в формировании нормативного пространства в области сварки полимерных материалов;
- Участие на льготных условиях в различных мероприятиях – семинарах, мастер-классах, конференциях, выставках, тематических экскурсиях в России и за рубежом; Расширение деловых контактов в профессиональном сообществе;
- Возможность заявить о себе и повысить свой личный статус и статус своей организации;
- Возможность постоянно повышать свою квалификацию.

тел. +7 (495) 745-68-57 доб. 40-94

Наш сайт: www.a-spm.ru

Форум: www.forum.a-spm.ru