

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕРМОПЛАСТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКОЙ

А.Д. Абрамов, А.Н. Сливин, С.В. Левин, В.Н. Хмелев

Бийский технологический институт (филиал)

ГОУ ВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Аннотация – В статье проанализированы параметры ультразвуковой сварки, влияющие на качество сварного соединения. Представлены результаты исследований по определению прочности сварных соединений термопластичных полимерных материалов, полученных ультразвуковой сваркой.

В течение последнего столетия сварка стала одним из наиболее распространенных технологических процессов при производстве изделий из термопластичных полимерных материалов. Трудно назвать какой-либо другой процесс, который развивался бы с такой же интенсивностью, а по разнообразию и объемам применения был бы сравним со сваркой. Поэтому есть основания предполагать, что существующие на сегодняшний день, способы сварки по-прежнему будут интенсивно развиваться в дальнейшем [1,7].

Обусловлено это тем, что решение множества важнейших технических проблем современности неразрывно связано с необходимостью получения сварных соединений, способных работать в различных условиях, в том числе и экстремальных.

Поэтому практически в любой области применения термопластичных полимерных материалов проблема обеспечения требуемой прочности сварного соединения является основной и привлекает пристальное внимание большого числа исследователей, технологов и конструкторов. В результате исследований накоплено много экспериментальных данных, причем некоторые из них на первый взгляд кажутся противоречивыми друг другу. В связи с этим назрела необходимость систематизировать эти данные и сформулировать наиболее приемлемую точку зрения на основные закономерности обеспечения прочности сварных соединений термопластичных полимерных материалов [2].

Сварные соединения высокого качества и со стабильными свойствами могут быть получены при обеспечении комплекса мероприятий, контроль за соблюдением которых должен осуществляться на всех этапах изготовления изделий – от получения и переработки исходного сырья до выпуска готовых изделий. При нарушении технологии изготовления сварных соединений в них могут образовываться дефекты, проявляющиеся либо сразу после сварки, либо в процессе эксплуатации. Как правило, такие дефекты обусловлены либо недостатком энергии, выделяемой в зоне сварки, что приводит к не полному расплавлению материалов в зоне контакта, либо чрезмерной энергии, выделяемой в зоне сварки, приводящей к деструкции термопластичных полимерных материалов [8].

Прочность сварных соединений всегда ниже, чем прочность исходных свариваемых материалов. Поэтому основная задача состоит в том, чтобы обеспечить получение таких соединений, которые максимально приближались бы к прочности исходного материала при режимах и условиях нагружения, соответствующих тем, в которых должны работать сварные конструкции [4].

Для достижения максимальной прочности сварного соединения необходимо подобрать параметры режима ультразвуковой сварки.

Основными параметрами режима ультразвуковой сварки являются: амплитуда колебаний рабочего конца волновода A (мкм), частота колебаний f (Герц), продолжительность ультразвукового воздействия $t_{св}$ (сек), величина сварочного давления $P_{св}$ (кг) [5].

Каждый из названных параметров оказывает существенное влияние на качество сварного соединения. С увеличением амплитуды колебаний рабочего торца инструмента увеличивается энергия подводимая к зоне сварки. Однако беспредельно увеличивать амплитуду колебаний нельзя, так как при значениях амплитуды 60-70 мкм наблюдается отрыв сварочного инструмента от поверхности изделия и значительное тепловыделение в

зоне акустического контакта инструмент-изделие. Это приводит, с одной стороны, к снижению прочности сварного шва и, с другой стороны, к интенсивному внедрению сварочного инструмента в поверхность изделия. Для большинства пластмасс оптимальными амплитудами колебаний сварочного инструмента являются амплитуды в 40...60 мкм.

Сварочное давление $P_{св}$ – это давление сварочного инструмента на изделие в процессе сварки. Сварочное давление необходимо для достижения хорошего акустического контакта между рабочим торцом инструмента и поверхностью изделия. С увеличением давления в зоне сварки существенно ускоряется скорость сварки. Однако чрезмерное увеличение давления приводит к интенсивной деформации материала в зоне сварки, выдавливанию расплавленного материала из сварной зоны, значительному уменьшению толщины изделия в зоне сварки и как следствие к снижению его прочности.

Недостаточное давление также не обеспечивает надежного сварного соединения вследствие недостаточной величины энергии доставляемой в зону сварки.

Таким образом, сварочное давление, возникающее на свариваемых поверхностях, является важнейшим параметром процесса ультразвуковой сварки.

Время сварки – это время ультразвукового воздействия на свариваемое изделие. Время сварки в конечном результате, определяет количество энергии, вводимой в свариваемое изделие. Чрезмерное увеличение длительности ультразвуковых колебаний приводит к перегреву материала в зоне сварки и его деструкции, что значительно снижает прочность сварного соединения.

Уменьшение времени ультразвукового воздействия не позволяет достаточно нагреть материал в зоне сварки, что приводит к снижению интенсивности диффузионных процессов и в конечном результате, образованию менее прочных сварных соединений [6].

Следует отметить, что основными параметрами сварки, которые изменяются с целью получения максимальной прочности сварного соединения, являются время сварки и сварочное давление. Амплитуда колебаний, как правило, подбирается максимальной, но не больше 60 мкм.

Основными критериями качества сварных соединений служат их механические и физико-химические свойства, которые количественно определяются путем испытания либо стандартных, либо специальных образцов при кратковременных или длительных нагрузках, иногда при воздействии поверхностно-активных сред [3].

Испытание прочности при постоянной скорости нагружения в настоящее время регламентировано стандартом (ГОСТ 16971-71, ГОСТ 11262-80). Применяемые обычно машины работают при постоянной скорости перемещения зажимов. При таком режиме испытания можно с известным приближением считать, что скорость деформации постоянна и соответствует постоянной скорости нагружения.

Испытание состоит в определении величины разрушающей силы при растяжении образца под действием постепенно увеличивающейся нагрузки. Это определение, при испытании пластмасс, можно проводить с помощью разрывной машины, позволяющей измерять нагрузки на образец с погрешностью не более 1% от величины нагрузки и варьировать скорость растяжения в пределах от 10 до 20 мм/мин [9,10].

Таким образом, для исследования прочности сварного соединения полимерных термопластичных материалов, выполненного ультразвуковой сваркой необходимо решить следующие частные задачи:

- 1 Изготовить образцы и получить сварной шов в соответствии с ГОСТ 16971-71.
- 2 Провести испытание на растяжение образцов из полипропилена и поливинилхлорида по ГОСТ 11262-80.
- 3 Определить коэффициент сохранения свойств для сварных соединений.

Исследование прочности формируемых сварных соединений полимерных термопластичных материалов проводилось по методу испытаний на растяжение образцов из полипропилена и поливинилхлорида по ГОСТ 11262-80. При этом изготовление образцов и

получение швов сварных соединений полимерных термопластичных материалов производилось по ГОСТ 16971-71. Отбор образцов производился в соответствии с требованиями этого стандарта.

Для изготовления сварных соединений с использованием схемы автоматического контроля изменяющихся в процессе сварки свойств, свариваемых материалов использовалось ультразвуковое оборудование на базе генератора "Гиминей-ультра-2", представленное на рисунке 1. Площадь окончания сварочного инструмента составляет $75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

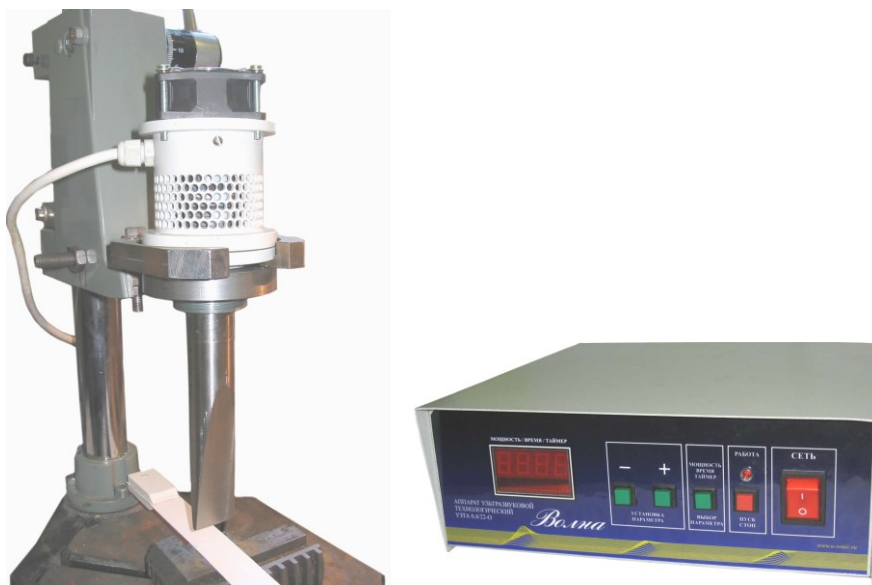
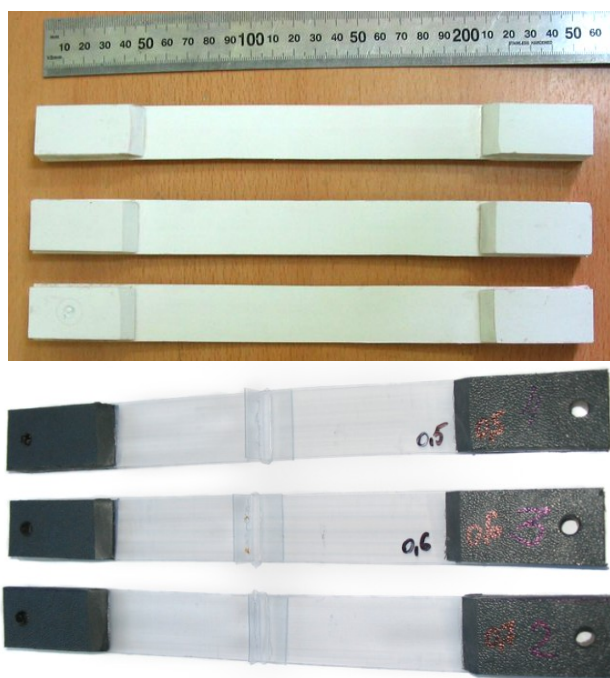


Рисунок 1 – Ультразвуковое оборудование для проведения экспериментов

На рисунке 2 представлены образцы из полипропилена и поливинилхлорида подготовленные к испытаниям в соответствии с требованиями ГОСТ 11262-80.



а)

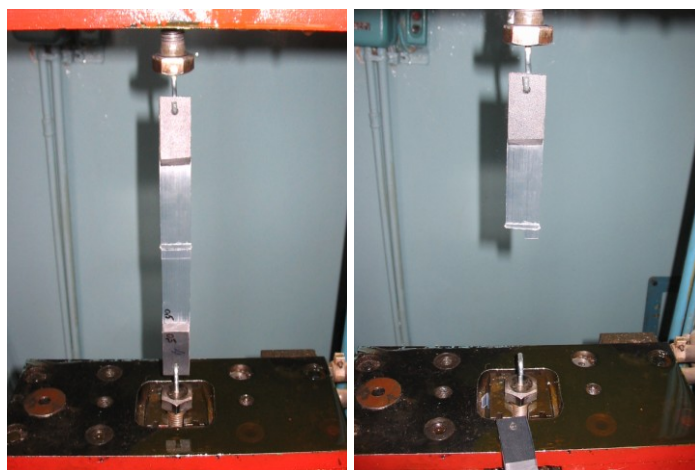
б)

а) – ПВХ, б) – полипропилен

Рисунок 2 – Образцы из полипропилена и ПВХ

При выполнении сварных соединений был установлен режим ультразвуковой сварки, при котором амплитуда колебаний сварочного инструмента составляла 50 мкм, частота колебаний 22 кГц, сварочное давление 1000Н и время ультразвукового воздействия 0,9 сек и 0,5 сек для ПВХ и полипропилена (ПП) соответственно.

Образцы были изготовлены из листовых материалов и обработаны по типоразмеру № 3 указанному в стандарте. Для усиления образцов из полипропилена был выбран идентичный материал, и изготовлены усиливающие накладки в месте крепления зажимов разрывной машины. Для усиления образцов из поливинилхлорида использовался полистирол, обладающий меньшим модулем упругости, чем у испытуемого материала. Для определения прочности сварных соединений на растяжение, в соответствии с требованиями стандарта, было изготовлено по пять образцов для испытания основного материала и образцов со сварными соединениями того же материала.



а) б)
Рисунок 3 – Проведение испытаний на разрывной машине Р-10

На разрывной машине Р-10, представленной на рисунке 3,а, производились механические испытания на растяжение, и устанавливалась прочность шва сварного соединения в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 11262-80.

Разрывная машина обеспечивала измерение нагрузки с погрешностью не более 0.5% от измеряемой величины и постоянную скорость раздвижения зажимов в пределах, требуемых настоящим стандартом.

На рисунке 3,б представлен процесс испытаний образцов из полимерных термопластичных материалов на растяжение, на разрывной машине Р-10. Все сварные соединения, представленных образцов, выдержали испытания, разрыв произошел рядом со сварными соединениями.

В таблице 1 представлены результаты испытаний, значения нагрузки при разрыве образцов и значения прочности образцов при разрыве основного материала и образцов со сварными соединениями, а также представлены результаты расчета коэффициента сохранения свойств для сварных соединений.

Таблица 1 – Результаты испытаний на прочность исследуемых образцов

№ образца, Наименование материала	Усилие при разрыве, F _{рр} , Н	Прочность при разрыве, σ _{рр} , МПа	среднее значение σ _{ср} , МПа	Коэфф. сохранения, $\frac{\sigma_{срсс}}{\sigma_{сром}}$ %
№1.ПП *	600	30	27,8	76
№2.ПП *	520	26		
№3.ПП *	620	31		
№4.ПП *	550	27,5		
№5.ПП *	490	24,5		
№1.ПП **	375	18,75	21,66	
№2.ПП **	392	19,6		
№3.ПП **	475	23,75		
№4.ПП **	447	22,35		
№5.ПП **	450	24		
№1. ПВХ *	1850	92,5	93,8	81
№2. ПВХ *	1890	94,5		
№3. ПВХ *	1950	97,5		
№4. ПВХ *	1700	85		
№5. ПВХ *	1990	99,5		
№1 ПВХ **	1520	76	75,7	
№2 ПВХ **	1520	76		
№3 ПВХ **	1670	83,5		
№4 ПВХ **	1450	72,5		
№5 ПВХ **	1410	70,5		

* – основной материал

** – сварное соединение

По результатам проведенных исследований установлено, что при ультразвуковой сварке (амплитуда колебаний сварочного инструмента 50 мкм, частота колебаний 22 кГц, сварочное давление 1000Н, время ультразвукового воздействия 0,9 сек и 0,5 сек для ПВХ и полипропилена соответственно) коэффициент сохранения свойств сваренных образцов из полипропилена составляет 76 %, для образцов из поливинилхлорида составляет 81 %, что составляет не менее 75 % от прочности основного материала, что удовлетворяет прочности сварного соединения по стандарту качества сварных соединений полимеров ГОСТ 11262–80.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Волков, С.С. Сварка пластмасс ультразвуком / С.С. Волков, Б.Я.Черняк, 2-е изд., перераб. и доп.// – М.: Химия, 1986. – 256 с.
- [2] Волков, С.С. Сварка и склеивание пластмасс / С.С. Волков, Ю.Н. Орлов, Р.Н. Астахова // М. «Машиностроение», 1972, 128 с.
- [3] Гуль, В.Е. Прочность полимеров / В.Е. Гуль // М.: Химия, 1964.
- [4] Зайцев, К.И. Сварка пластмасс / К.И. Зайцев, Л.Н. Мацюк // – М.: Машиностроение, 1978. – 224 с.
- [5] Мозговой, И.В. Основы технологии ультразвуковой сварки полимеров / И.В. Мозговой//Учеб. Пособие, Изд-во красноярского ун-та, 1991,280 с.
- [6] Сливин, А.Н. Способ контроля качества ультразвуковой сварки полимерных материалов / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, С.Н Цыганок, А.Н. Сливин, И.И. Савин,

- А.В. Шалунов, Т.А. Демидова // Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2002. - С.184-190.
- [7] Хмелев, В.Н. Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой сварки элементов картриджа для очистки воды / В.Н. Хмелёв, Р.В. Барсуков, А.Н. Сливин, С.Н. Цыганок, А.В.Шалунов, И.И. Савин, С.В. Левин, М.В. Хмелев, // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП - 2003): Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции – Бийск: АлтГТУ, 2003 – с.202-210.
- [8] Холопов, Ю.В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов / Ю.В.Холопов, – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 224 с.: ил.
- [9] Шестопал, А.Н. Справочник по сварке и склеиванию пластмасс / А.Н. Шестопал, Ю.С. Васильев // Киев, «Техника», 1986, 202 с.