

Определение Прочности Сварных Соединений Термопластов, Полученных Ультразвуковой Сваркой

Владимир Н. Хмелёв, д.т.н., *Senior Member*, IEEE, Алексей Н. Сливин, Алексей Д. Абрамов, *Student Member*, IEEE, Сергей В. Левин, *Student Member*, IEEE
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.

Ключевые слова – Полимерный материал, прочность, ультразвуковая сварка, термопластичные материалы, прочности сварных соединений, сварочное давление.

I. ВВЕДЕНИЕ

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].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

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.

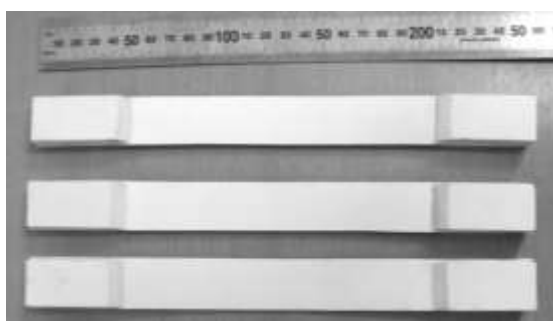
III. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ

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.

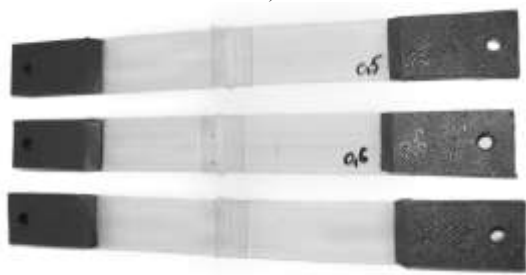
Для изготовления сварных соединений с использованием схемы автоматического контроля изменяющихся в процессе сварки свойств, свариваемых материалов использовалось ультразвуковое оборудование на базе генератора "Гиминей-ультра-2", представленное на Рис.1. Площадь окончания сварочного инструмента составляет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



Рис. 1. Ультразвуковое оборудование для проведения экспериментов



а)



б)

а) – ПВХ, б) – полипропилен

Рис. 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 ульт-

развукового воздействия 0,9 сек и 0,5 сек для ПВХ и полипропилена (ПП) соответственно.

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



Рис. 3. Разрывная машина Р-10

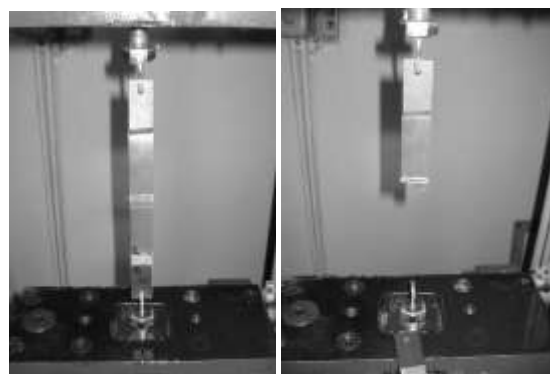


Рис. 4. Проведение испытаний на разрывной машине Р-10

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.

На разрывной машине Р-10, представленной на Рис.3 производились механические испытания на растяжение, и устанавливалась прочность шва

сварного соединения в соответствие 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.

ТАБЛИЦА I
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБРАЗЦОВ

№ образца, Наименование материала	Усилие при разрыве, $F_{рр}$, Н	Прочность при разрыве, $\sigma_{рр}$, МПа	среднее значение $\sigma_{ср}$, МПа	Коэфф. сохранения, $\frac{\sigma_{срсс}}{\sigma_{срсм}}$ %
№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		
№1ПВХ**	1520	76	75,7	
№2ПВХ**	1520	76		
№3ПВХ**	1670	83,5		
№4ПВХ**	1450	72,5		
№5ПВХ**	1410	70,5		

* – основной материал

** – сварное соединение

На Рис. 4 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 Табл. I представлены результаты испытаний, значения нагрузки при разрыве образцов и значения прочности образцов при разрыве ос-

новного материала и образцов со сварными соединениями, а также представлены результаты расчета коэффициента сохранения свойств для сварных соединений.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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] Шестопап, А.Н. Справочник по сварке и склеиванию пластмасс / А.Н. Шестопап, Ю.С. Васильев // Киев, «Техника», 1986, 202 с.