

Исследование процесса термоультразвуковой сварки сложносвариваемых полимерных пленок

Шестель Л.А., Кугашов Д.А., Машанова Д.О., Афанасьева М.В.  
*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

Аннотация: При изготовлении ответственных конструкций (средства индивидуальной защиты человека, метеозонды и др.) из полимерных пленок к ним предъявляются повышенные требования к качеству сварных швов. Материалом таких конструкций, как правило, служат сложносвариваемые пленки, например, полиэтиленовая модифицированная (ПЭМ). В статье рассмотрено влияние параметров процесса сварки на прочность сварных швов.

Ключевые слова: сварка, пленка полиэтиленовая, ультразвук, сварной шов, тепловое поле, средство индивидуальной защиты, прочность.

Увеличение производства пластмасс по объему и номенклатуре, расширение области применения этих материалов стимулирует развитие исследований, разработку технологических процессов и оборудования для изготовления различных конструкций из полимерных материалов, в том числе и пленочных. Для изготовления последних применяют разные способы соединения отдельных деталей изделия – склеивание, сварку и т.д.[2].

Широкое распространение получают пленки на основе полиэтилена, которые характеризуются хорошей свариваемостью, так как имеют широкий интервал вязкотекучего состояния и могут быть сварены различными способами. Однако для повышения эксплуатационных свойств изделия, в него вводят модификаторы, которые значительно снижают их технологические характеристики, в частности, свариваемость [1]. В этом случае, при изготовлении ответственных пневматических конструкций, перспективной представляется ультразвуковая сварка [2,6].

В то же время, существующие схемы ультразвуковой сварки не всегда обеспечивают требуемого качества сварки сложносвариваемых пленок, к которым можно отнести модифицированную полиэтиленовую (ПЭМ).

Решение этой задачи возможно путем применения способа термоультразвуковой сварки [1,2,6], при котором используется сочетание энергии ультразвуковых колебаний и теплового поля.

Кратко рассмотрим теоретические предпосылки перспективности данной технологической схемы сварки.

Ультразвуковые колебания представляют собой упругие [1,5] волны, распространяющиеся в любой материальной среде, находящейся в твердом, жидком или газообразном состоянии. Возникновение упругих волн обусловлено тем, что при смещении некоторой точки упругой среды под действием внешнего усилия возникают упругие силы, стремящиеся вернуть точку в положение равновесия.

Всякая гармоническая волна, т. е. волна, в которой все изменения состояния среды происходят по синусоидальному закону, характеризуется следующими величинами: - периодом  $T$  или частотой колебаний  $f$ , равной числу колебаний в единицу времени  $f = 1/T$ ; круговой частотой  $\omega = 2\pi f$ ; скоростью перемещения фазы, или фазовой скоростью,  $c$ ; длиной волны  $\lambda$ , равной расстоянию между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковой фазе ( $\lambda = cT = c/f$ ).

Ультразвуковыми являются упругие колебания, частота которых превышает 16000 Гц (колебаний в секунду).

Особенностью ультразвуковой сварки является возможность соединения отдельных деталей по загрязненным поверхностям, так как удалению загрязнений способствуют поперечные волны, распространяющиеся от зоны сварки [6].

Преобразование электрических колебаний в механические осуществляется посредством магнитострикционного преобразователя, состоящего из набора пластин, и основано на магнитострикционном эффекте. Он заключается в том, что при пропускании через обмотку, намотанную на стержень из ферромагнитного материала, переменного тока высокой частоты, под действием магнитного поля происходит изменение геометрических размеров стержня с частотой, равной частоте колебаний пропускаемого тока.

Величина амплитуды смещения, создаваемая магнитострикционным эффектом, невелика и составляет 3–5 мкм. Для увеличения амплитуды смещения к магнитострикционному преобразователю присоединяют трансформатор упругих колебаний, а к последнему – рабочий инструмент (волновод).

Задаваясь определенным законом изменения площади поперечного сечения трансформатора и волновода, можно увеличить амплитуду смещения торца магнитострикционного преобразователя в 10 и более раз.

Трансформатор упругих колебаний служит так же для согласования параметров преобразователя и нагрузки, а волновод для введения ультразвуковых колебаний в свариваемое изделие.

При обеспечении необходимых условий ввода механических колебаний и создания надежного физического контакта между соединяемыми поверхностями свариваемых материалов с определенным усилием, сварка происходит между торцом инструмента и опорой [3].

Исследование тепловых процессов, протекающих при сварке полимерных пленок, показало, что введение механических колебаний ультразвуковой частоты в контактируемые материалы приводит к быстрому нагреву с преимущественным ростом амплитуды на контактирующих поверхностях. Нагрев обусловлен поглощением энергии механических колебаний в объеме материала, находящегося под волноводом, а так же поглощением энергии на контактирующих свариваемых поверхностях.

По вопросу механизма теплообразования при ультразвуковой сварке существует ряд представлений, которые относятся, главным образом, к сварке материалов больших толщин. Исходя из этих представлений и их практического анализа, выделение теплоты в объеме полимера обусловлено потерями на внутреннее трение.

Энергия теплового поля характеризуется тем, что перемещение его фронта к зоне контакта соединяемых поверхностей зависит от теплопроводности свариваемого материала [5]. Поэтому действие теплового поля в зоне контакта наступает через промежуток времени, пока не прогреется вся толщина свариваемого элемента. То есть происходит отставание развития тепловых процессов от воздействия ультразвуковых колебаний, тепло от которых локализуется непосредственно на границе раздела свариваемых поверхностей.

Эти особенности протекания процессов в рабочей зоне сварки способствуют более равномерному распределению температурных полей в зоне сварки

Эксперименты проводили на разработанной установке по схеме шовной сварки на опорном вращающемся ролике. Частота ультразвуковых колебаний сварочной головки была равна 40 кГц. Сварочное давление создавали набором грузов и контролировали образцовым динамометром ДОСМ-0,05, амплитуду колебаний в процессе сварки изменяли регулированием мощности ультразвукового генератора на заданное значение, при этом минимальное значение амплитуды рабочего инструмента ножевого типа в свободном состоянии составляло 12-15 мкм, а максимальное - 25-27 мкм.

В качестве нагревателя использовали ленту из фторопласта Ф-4 толщиной 60 мкм, которая предварительно (вне зоны сварки) нагревалась, и проходя через рабочую зону передавала тепло одной из свариваемых пленок, Одновременно она выполняла роль антиадгезионной прокладки, предотвращающей прилипание нижней свариваемой пленки к опорному ролику [4].

Из сваренных изделий вырезали образцы размерами 10x40 мм, механические испытания проводили на расслаивание на разрывной машине РП-100 и на изгиб на разработанном устройстве, а также изучали срезы сварных соединений оптическим методом при увеличении 90х.

**Для исследования зависимости сварочного давления от температуры нагрева**, по температуре был взят интервал 50 – 150° С, с шагом 50° С; по сварочному давлению интервал составил 0,5 – 1,5 МПа, с интервалом 0,5 МПа. Амплитуда была задана 15, 20, 25 мкм.

При изучении срезов, наиболее предпочтительным оказалась T=100° С при амплитуде 20 мкм.

Зависимость температуры нагрева от сварочного давления приведены на рисунок 1.

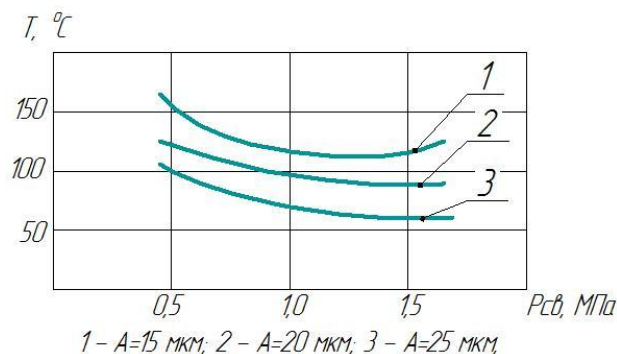


Рисунок 1 – Зависимость температуры нагрева от сварочного давления

Исследование показало, что чем ниже температура нагрева, тем больше должно быть сварочное давление. Однако при повышении амплитуды требуется меньшее давление

### ***Влияние температуры теплового поля на амплитуду ультразвуковых колебаний***

Для исследования выполняли сварку образцов пленок, одним волноводом, с изменяющейся амплитудой рабочего инструмента от 20 до 35 мкм, шаг 5 мкм; температура изменялась от 50 до 150<sup>0</sup> С, шаг 50<sup>0</sup> С. Сварка велась при постоянном сварочном давлении. Замеры амплитуд волновода производили с помощью оптического микроскопа МГ-2М.

При изучении срезов, наиболее предпочтительным оказался сваренный при параметрах 100<sup>0</sup> С и амплитуде 23-25 мкм.

Результаты испытания полученных сварных соединений показали, прямую зависимость амплитуды от температуры нагрева (рисунок 2).

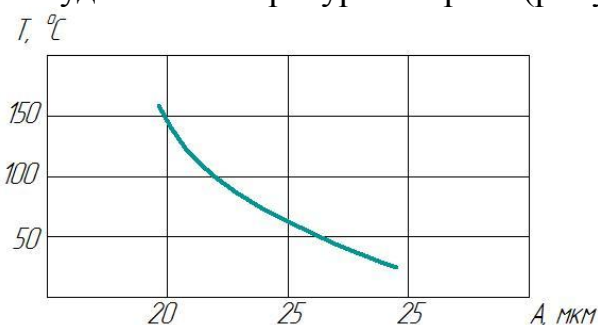


Рисунок 2 – Влияние температуры на амплитуду ультразвуковых колебаний

Результаты экспериментов по замеру амплитуды при изменении температуры показали: при повышении температуры в зоне сварки требуется меньшая амплитуда колебаний.

### ***Зависимость температуры нагрева на скорость сварки***

Интервалами варьирования температуры составлял от 50 до 150<sup>0</sup> С, шаг изменения составил 50<sup>0</sup> С. Замер скорости перемещения свариваемого материала производили с помощью электронного тахометра.

Зависимость представлен на рисунок 3. Сварка велась при постоянной амплитуде.

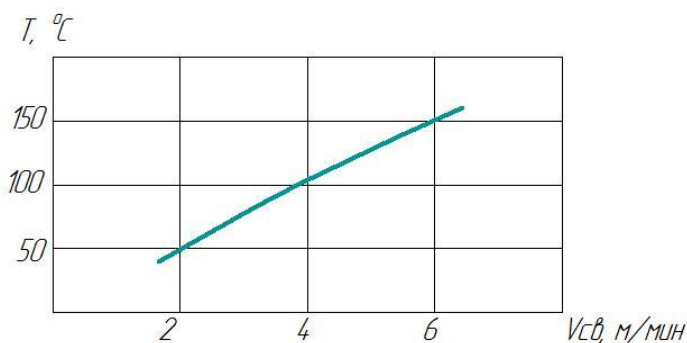


Рисунок 3 – Зависимость температуры нагрева от скорости сварки

Исследование зависимости скорости сварки от температуры нагрева показало, что при увеличении температуры увеличивается скорость сварки.

По результатам исследований установили, что применение комбинации энергии теплового поля и ультразвуковых колебаний позволяет,:

- снизить амплитуду ультразвуковых колебаний;

- снизить температуру нагрева;

т.е. вести процесс термоультразвуковой сварки на так называемом «мягком» режиме».

Анализ результатов экспериментов позволяет сделать вывод, что использование термоультразвуковой сварки является перспективным при изготовлении ответственных пневматических конструкций из сложносвариваемых полимерных материалов, например, модифицированного полиэтилена (ПЭМ).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков, С. С. Сварка и склеивание полимерных материалов / С. С. Волков. – М.: Химия, 2003. – 374 с.

2. Изготовление средств индивидуальной защиты от вредных воздействий при ЧС [Текст] / Шестель Л.А., Д.А. Куташов [и др.] // Энергетика: Эффективность, надёжность, безопасность: материалы XX Всеросс. науч.-технич. конф. / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. Т. II. – С. 86–88.

3. Негров, Д. А. Ультразвуковые колебательные системы для синтеза полимерных композиционных материалов / Д.А. Негров, Е.Н. Еремин, А. А. Новиков, Л.А. Шестель. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2012. – 132 с.

4. Устройство для непрерывной термоультразвуковой сварки термопластичных пленок [Текст]: пат. 141349 Рос. Федерация: МПК В29С 65/08 / Шестель Л.А., Саяпин Ю.А., Волков С.С., Соколов В.А.; 2012140296/05; заявл. 20.09.2012; опубл. 27.05.2014, Бюл. №15.

5. Холопов, Ю.В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов / Ю.В. Холопов. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. — 224 с

6. Шестель, Л.А. Оборудование для термоультразвуковой сварки полимерных многослойных пленок [Текст] / Л.А. Шестель, Д.А. Куташов, Ю.А. Саяпин // «Справочник. Инженерный журнал». – 2015. – №1(214). – С. 7–9.