

# Разработка Способа Ультразвуковой сварки Ячеистых Решеток из Термопластов для Укрепления Дорожных Поверхностей.

Владимир Н. Хмелев, Алексей Н. Сливин, А.Д. Абрамов

*Аннотация* – В статье приведены результаты разработки нового способа изготовления георешеток, основанного на ультразвуковой сварке термопластичных материалов. Для практической реализации способа создано специализированное ультразвуковое оборудование, позволяющее оптимизировать процесс формирования сварных соединений с необходимой прочностью за счет осуществления непрерывного контроля параметров свариваемых материалов и автоматического управления процессом УЗ воздействия.

## I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для ландшафтного и дорожного строительства широко используются специальные сотовые конструкции - георешетки. Такие конструкции представляют собой соединенные в шахматном порядке ленты, изготовленные из полимерных материалов, которые при раскладывании на грунте образуют специальную ячеистую решетку (фиг.1.).



Фиг. 1 Ячеистая решетка в ландшафтном строительстве.

Формирование покрытия при использовании таких

решеток основано на принципе заполнения ячеек решетки сыпучими и гранулированными материалами.

Универсальность конструкции решеток позволяет строить временные и капитальные дороги на слабых основаниях площадок, укреплять откосы и конусы дорог, создавать подпорные стены, расширять существующие дороги и укреплять обочины, обустривать водотоки с гофрированными трубами.

Потребность в георешетках различного типоразмера огромна и постоянно растет. Однако, удовлетворить растущие потребности в полной мере не удастся. Связано это с отсутствием высокоэффективного способа производства георешетки и реализующего его простого и надежного оборудования.

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Известны способы изготовления решеток с ячеистой структурой для укрепления грунтовых поверхностей, основанные на послойной укладке друг на друга лент из плоского термопластичного полимерного материала, и соединении их в шахматном порядке сварными швами [1,2,3]. При этом получение сварных соединений обеспечивается термическим способом, при внедрении нагретых сварочных элементов в свариваемые ленты. Основным недостатком таких способов изготовления является недостаточная эксплуатационная прочность сварных швов, выполненных термическим способом, в результате нагрева сварочных элементов до температуры, превышающей температуру плавления соединяемых материалов.

Более совершенным, лишенным таких недостатков, является способ изготовления решетки с ячеистой структурой, основанный на ультразвуковом способе получения сварного соединения [4]. В этом способе ленты термопластичного полимерного материала устанавливаются на ребра и формирование сварных соединений осуществляется ультразвуковой сваркой на частоте 18-25 кГц в вертикальном или наклонном направлении по отношению к ребрам лент.

За счет применения ультразвуковой сварки, способ позволил повысить эксплуатационную прочность сварных швов, обеспечив повышение несущей

## Разработка Способа Ультразвуковой сварки Ячеистых Решеток из Термопластов для Укрепления Дорожных Поверхностей

способности укрепляемых грунтовых поверхностей, повышение прочности и увеличение срока службы возводимых сооружений.

При этом ультразвуковой способ должен был увеличить прочность сварного соединения до 70% от прочности основного материала. На отдельных швах, при толщине материала более 2 мм это было достигнуто. Однако, в среднем по большому количеству сварных соединений в решетке и в случае толщины материала менее 1,7 мм, эксплуатационная прочность сварных швов осталась недостаточной. Это обусловлено следующими причинами:

1. Отсутствием контроля за состоянием материала в процессе формирования шва (определения момента перехода материала в вязкопластичное состояние и формирования шва с максимальной прочностью) и автоматического установления оптимального времени ультразвукового воздействия для каждой сварки (вместо установления некоторого среднего времени, определяемого экспериментально в процессе отработки технологии на каждом материале). Установление постоянного времени УЗ воздействия приводит к тому, что при незначительных изменениях толщины материала, усилия сжатия, свойств материала возникают несплошности, деструкция материала, неравномерности, ухудшающие качество шва и всей решетки.

2. Невозможность обеспечения в процессе сварки стабильного акустического контакта между рабочей поверхностью ультразвуковой колебательной системы, сварочной подложкой и свариваемыми лентами, установленными вертикально на ребра.

3. Формирование недопустимых сварочных швов между тремя и более лентами одновременно, из-за отсутствия гарантированного зазора между двумя свариваемыми лентами и уже соединенными.

4. Используемый частотный диапазон ультразвукового воздействия является недостаточным для сварки тонких лент (слишком низкочастотным), поскольку известно, что УЗ колебания низких частот практически не поглощаются тонкими слоями материалов. Поэтому, применение УЗ колебаний частотного диапазона 18...25 кГц не обеспечивает качественной сварки тонких лент (толщиной менее 1,5 мм), а при сварке толстых лент (более 1,5 мм) требует длительного УЗ воздействия (более 5...10 сек), что снижает производительность производства решеток.

Перечисленные недостатки снижают эффективность способа и не обеспечивают требуемой производительности производства.

В связи с этим возникла необходимость устранить существующие недостатки и разработать способ изготовления решетки с ячеистой структурой для укрепления грунтовой поверхности, в котором укладка лент исключает одновременное соединение более чем двух лент, при котором осуществляется контроль параметров и управления процессом сварки и

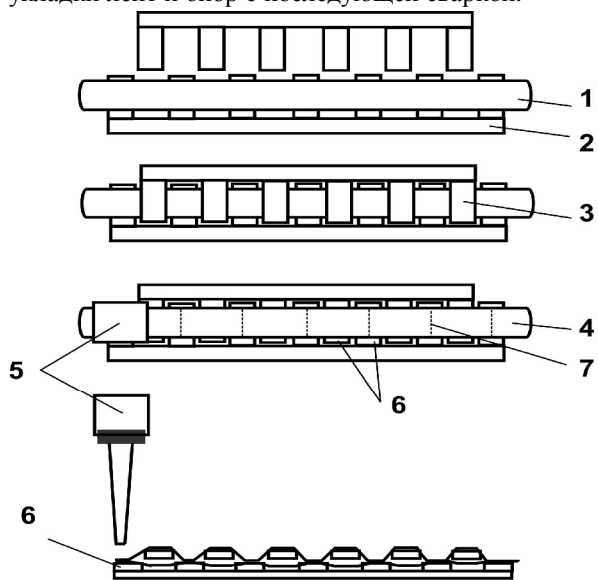
обеспечивается формирование сварных соединений в шахматном порядке с необходимой прочностью.

### III. РАЗРАБОТКА СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ РЕШЕТКИ

Для решения поставленной задачи был разработан способ, лишенный перечисленных недостатков и обеспечивающий формирование сварных соединений в шахматном порядке с необходимой прочностью.

Для формирования сварных швов в шахматном порядке была разработана следующая схема: последовательно укладывают ленты на две независимые опоры лестничного типа со сварочными подложками в виде переключателей на участках для формирования швов, формируют швы, соединяющие две первые ленты. После соединения двух первых лент нижнюю опору перемещают на поверхность верхней ленты, накладывают следующую ленту, производят формирование швов между третьей и второй лентами. Затем, перемещая, после сварки двух очередных лент, нижнюю опору на поверхность присоединенной сварными швами ленты и накладывая на нее очередную присоединяемую ленту, обеспечивают соединение заданного числа лент.

На Фиг.2. представлена схема реализации предложенного способа изготовления решетки – процесс укладки лент и опор с последующей сваркой.



Фиг.2 Схема способа изготовления и ультразвуковой сварки решеток

где, 1 - первая лента термопластичного материала для формируемого пакета лент при изготовлении решетки. 2 - первая из двух независимых опор лестничного типа со сварочными подложками 6 в виде переключателей на участках для формирования швов. 3 - вторая опора. 4 - вторая лента термопластичного материала для формируемого пакета лент. 5 - ультразвуковая

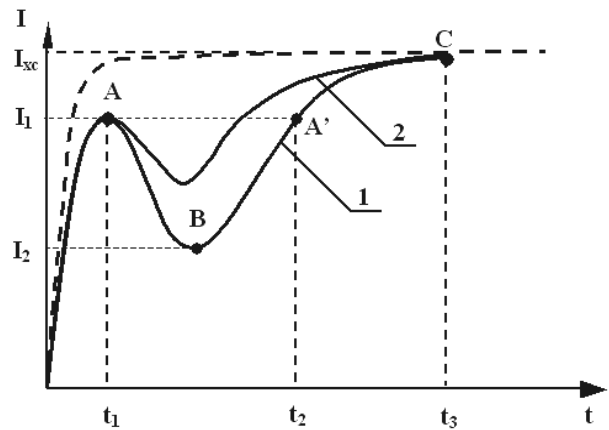
## Разработка Способа Ультразвуковой сварки Ячеистых Решеток из Термопластов для Укрепления Дорожных Поверхностей

колебательная система. 7 – участки формирования линейных сварных соединений.

Способ изготовления решетки с ячеистой структурой для укрепления грунтовых поверхностей реализуется следующим образом. (Фиг.2.) Первую ленту 1 укладывают на опору 2 (нижнюю). На ленту 1 сверху укладывают вторую опору 3. Затем на опору 3 укладывают вторую ленту 4. Обеспечивают акустический контакт между рабочей поверхностью ультразвуковой колебательной системы 5 и свариваемыми лентами, то есть прижим рабочей поверхности ультразвуковой колебательной системы с усилием не менее 2000Н к свариваемым лентам из термопластичного материала и сварочной подложке 6.

Для получения сварных соединений лент термопластичного полимерного материала толщиной менее 1.5 мм, для обеспечения наилучшего поглощения ультразвуковой энергии производят ультразвуковое воздействие с рабочей частотой 22 – 44 кГц при амплитуде колебаний не менее 30 мкм на свариваемые материалы, и формируют сварные соединения. В процессе ультразвуковой сварки и формирования сварного соединения производят непрерывный контроль ее электрических параметров, на основании которого определяют оптимальное время УЗ воздействия (период времени  $t_2 - t_1$  от момента включения ультразвука А до А'), после чего производят автоматическое отключение ультразвуковых колебаний. Так производят ультразвуковую сварку лент в местах получения сварных соединений 7 по сварочным подложкам 6 первой опоры. Затем нижнюю опору вынимают и перемещают на поверхность верхней (второй) ленты. Накладывают следующую ленту, производят формирование швов между третьей и второй лентами по сварочным подложкам второй опоры 3. Таким образом, последовательно перемещая нижнюю опору на поверхность присоединенной сварными швами ленты и накладывая на нее очередную присоединяемую ленту, обеспечивают соединение заданного числа лент.

В процессе получения сварного соединения осуществлялся непрерывный контроль электрических параметров пьезоэлектрической колебательной системы, и устанавливалось оптимальное время УЗ воздействия на основании данных об изменении параметров.



Фиг.3 Зависимость тока, протекающего через УЗКС.

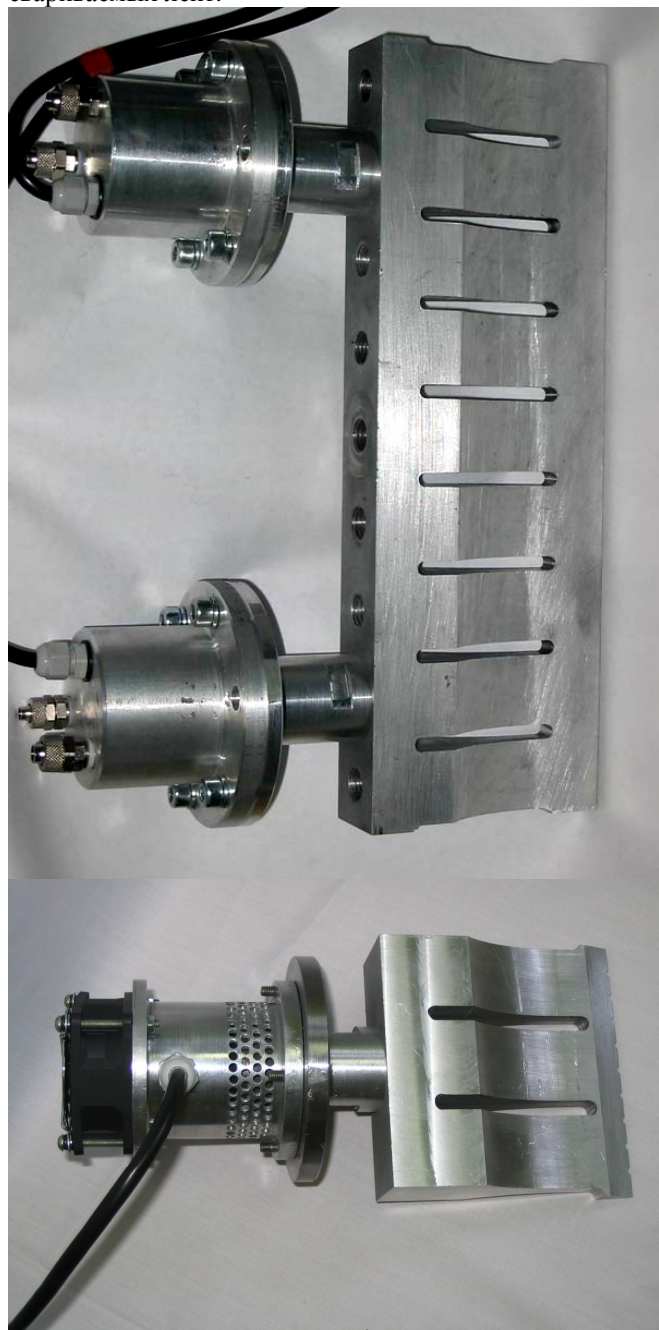
На фиг.3. представлена зависимость контролируемой в процессе ультразвуковой сварки термопластичных материалов величины тока, протекающего через пьезокерамические элементы ультразвуковой колебательной системы в процессе формирования сварного шва.

Точка А на графике соответствует началу ультразвукового воздействия. Точка В – моменту максимального демпфирования ультразвуковой колебательной системы. Точка А' – максимальной прочности сварного соединения. Участок АС – соответствует вязкотекучему состоянию полимерного термопластичного материала.

Кривые, представленные на рисунке, были получены в процессе сварки двух лент полимерного термопластичного материала при постоянном статическом давлении на колебательную систему. Пунктирная кривая получена при отсутствии в зоне ультразвукового воздействия свариваемых материалов (излучение в воздух). Из представленных на рисунке зависимостей видно, что при отсутствии процесса сварки значение тока  $I$  равно  $I_{xc}$  сохраняется на протяжении всего времени ультразвукового воздействия  $t_3$ . Сплошные кривые иллюстрируют изменение величины тока (и соответственно амплитуды механических колебаний), протекающего через пьезокерамические элементы излучателя во время сварки двух лент полимерных материалов между собой. Такое изменение тока в процессе формирования шва связано с изменяющимися свойствами материала в зоне сварки (размягчение материала, переход в вязкопластичное и далее в вязкотекучее состояние). Точка А (см. кривую 1) соответствует началу ультразвукового воздействия. Величина тока  $I_1$  в точке А меньше величины тока  $I_{xc}$ , что связано с начальными демпфированием ультразвуковой колебательной системы прижатом к ней материалом. Чем больше сила начального статического давления на свариваемый материал, тем меньше начальный ток сварки. Уменьшение тока на участке АВ обусловлено размягчением полимерного материала, улучшением акустического контакта излучающей поверхности

## Разработка Способа Ультразвуковой сварки Ячеистых Решеток из Термопластов для Укрепления Дорожных Поверхностей

колебательной системы с ним и, как следствие, снижением добротности ультразвуковой системы. Уменьшение тока продолжается до значения  $I_2$  (точка В), что соответствует моменту максимального демпфирования излучателя. Участок ВС соответствует переходу материала из вязкопластичного в вязкотекучее состояние. Излишки расплавленного материала начинают выдавливаться из зоны сварки, что изменяет (уменьшает) статическое давление на колебательную систему и увеличивает его добротность. Именно на этом участке лежит точка соответствующая оптимальному качеству шва. Многочисленные исследования и тестирования качества сварных соединений показали, что прочность материала шва в точке А' соответствует максимальной прочности сварного соединения свариваемых лент.



Фиг.4. Ультразвуковые колебательные системы для формирования сварных швов длиной 360 мм и 150 мм.

Для обеспечения линейных сварных швов были разработаны специализированные ультразвуковые колебательные системы, представленные на фиг.4. для формирования линейных сварных соединений длиной 150 мм и 360 мм [4].

В состав каждой колебательной системы входят электромеханические пьезоэлектрические преобразователи, волновое звено — трансформатор или иначе концентратор колебательной скорости, который выполнен цельно с рабочим сварочным инструментом - излучателем ультразвуковых механических колебаний.

Концентратор колебательной скорости или ультразвуковых колебаний выполнен в виде полуволновой конструкции и рассчитан на рабочую частоту колебаний 22- 44 кГц. На его верхней входной поверхности через рассчитанные, равные  $\lambda/6$  расстояния, выполнены отверстия для установки пьезоэлектрических преобразователей. Выбраны оптимальные расположения двух пьезоэлектрических преобразователей для обеспечения равномерной амплитуды колебаний по всей поверхности рабочего инструмента ультразвуковой колебательной системы.

Для исключения толщинных резонансных колебаний концентратора и увеличения амплитуды продольных колебаний были выполнены специальные фрезеровочные отверстия через рассчитанные и равные  $\lambda/6$  расстояния.

### IV ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований было разработано и изготовлено специализированное ультразвуковое оборудование, представленное на фиг.5

Исследования прочности и герметичности сварных соединений, полученных при производстве георешеток в Лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института позволили установить, что УЗ сварка обеспечила прочность сварного соединения не менее  $150 \text{ кг/см}^2$ , что составляет не менее 70 % от прочности основного материала. Применение способа позволило использовать его при изготовлении решеток фактически любой длины и ширины с максимально возможной шириной лент до 150 и 360 мм.

Для получения сварных соединений длиной 150 и 360 мм и шириной от 3 мм до 10 мм были разработаны и изготовлены специализированные ультразвуковые колебательные системы [5], представленные на фиг.4.

Использование предлагаемого способа повысит качество решеток с ячеистой структурой за счет увеличения эксплуатационной прочности сварных швов, обеспечит повышение несущей способности

## Разработка Способа Ультразвуковой сварки Ячеистых Решеток из Термопластов для Укрепления Дорожных Поверхностей

укрепляемых грунтовых поверхностей, повышение прочности и увеличение срока службы возводимых сооружений.

Технический результат выражается не только в повышении качества, исключении брака, но и в увеличении производительности при производстве решетки в несколько раз, по сравнению с аналогами.



Фиг.5. Ультразвуковое технологическое оборудование для формирования сварных швов длиной 150 мм и 360 мм.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 2153417 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 29 С 65/02. Способ изготовления решетки с ячеистой структурой для укрепления грунтовых поверхностей и устройство для его осуществления / Васильев М.М., Егоров А.В., Исаев Ю.В., Каримов Р.Х., Кошелев О.В., Ленков И.И., Рыбаков О.В., Яковлев М.М.; патентообладатель Егоров А.В., Каримов Р.Х.; заявл.24.08.1999; опубл. 27.07.2000.
2. Патент США 4797026, 1989.
3. Патент 2005617 Российская Федерация, МПК<sup>5</sup> В 29 С 65/02. Способ соединения слоев термопластичной пленки / Ремов Л.М.; патентообладатель Витебское производственное объединение «Монолит»; заявл. 25.05.1992; опубл. 15.01.1994.
4. Патент 2129189, Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> Е 02 D 17/20. Решетка с ячеистой структурой и способ её изготовления / Ким А.И., Бражников К.К.; патентообладатель 494 Управление Начальника работ; заявл. 04.06.1998; опубл. 20.02.1999.
5. Патент 2284228, Российская Федерация, МПК В 06 В 1/06. Ультразвуковая колебательная система / Хмельёв В.Н., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Левин С.В., Хмельёв М.В., Лебедев А.Н.; патентообладатель ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»; заявл. 13.05.2005; опубл. 27.09.2006.