

УДК 621.791.16

doi: 10.18698/0536-1044-2019-7-25-34

Разработка технологии и оборудования для шовной ультразвуковой сварки синтетических тканей

С.С. Волков¹, Д.С. Розанов¹, Л.А. Шестель²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана

² Омский государственный технический университет

The Development of Technology and Equipment for Ultrasonic Seam Welding of Synthetic Fabrics

S.S. Volkov¹, D.S. Rozanov¹, L.A. Shestel²

¹ Bauman Moscow State Technical University

² Omsk State Technical University

Рассмотрены и проанализированы способы ультразвуковой сварки синтетических тканей. Описаны технологические особенности шовной ультразвуковой сварки синтетических тканей. Выявлены основные параметры режима такой сварки, существенно влияющие на скорость достижения максимальной температуры в зоне сварного соединения тканей, определяя интенсивность их разогрева, а следовательно, и производительность процесса сварки. Изучены тепловые процессы, возникающие при шовной сварке синтетических тканей. Установлено, что время сварки возрастает с увеличением числа соединяемых слоев, а также при добавлении в состав тканей хлопка. Обнаружено, что при сварке синтетических тканей небольшой толщины отвод тепла в волновод и ролик-опору практически не влияет на значение максимальной температуры на границе связываемых поверхностей и время ее достижения. Проведены эксперименты по свариваемости лавсановой, капроновой и полипропиленовой тканей. Исследована зависимость статического сварочного давления от скорости сварки и фиксированного зазора между волноводом-инструментом и роликом-опорой. Показано, что перемещение материала под волноводом-инструментом не оказывает подогревающего воздействия на близлежащие участки сварного шва. Прочность сварных соединений практически не зависит от высоты и формы ролика-опоры.

Ключевые слова: синтетические ткани, ультразвуковая шовная сварка, фиксированный зазор, скорость сварки, амплитуда колебаний, статическое сварочное давление

In this work, possible methods of ultrasonic welding of synthetic fabrics are considered and analyzed. Technological features of ultrasonic seam welding of synthetic fabrics are described. The key parameters of this type of welding that significantly influence the speed of achieving the maximum temperature in the fabric welding zone are identified. These parameters determine the intensity of the fabrics' warm-up, and therefore, the efficiency of the welding process. Thermal processes occurring at seam welding of synthetic fabrics are studied. It is established that the welding time increases with an increase in the number of connecting layers as well as with addition of cotton to the fabric composition. It is determined that when welding synthetic fabrics of small thickness, heat removal to the waveguide and the support roller has virtually no influence on the maximum temperature at the border of the mating surfaces and on the time of achieving the maximum temperature. Experiments on welding lavsan, kapron and polypropylene fabrics are conducted. The dependence of the statistic welding pressure on the welding speed and the fixed gap between the waveguide and the support roller is investigated. It is determined that the movement of

material under the waveguide doesn't have a warming-up impact on the neighbouring areas of the welded seam. The strength of the welded joints practically does not depend on the height and shape of the support roller.

Keywords: synthetic fabrics, ultrasonic seam welding, fixed gap, welding speed, amplitude of fluctuations, static welding pressure

В настоящее время синтетические ткани (СТ) используют для изготовления белья и изделий бытового значения, тяжелых морских канатов, рыболовных сетей, клиновидных и ленточных ремней, спецодежды, пожарных шлангов, тканей для нужд медицины, а также в цветной металлургии, химической, горнодобывающей и нефтеперерабатывающей отраслях промышленности [1, 2].

Широкое применение таких тканей обусловлено их высокими физико-механическими показателями, минимальным водопоглощением, стойкостью к воздействию агрессивных сред и повышенной температуры, износоустойчивостью и др. Благодаря этим достоинствам СТ успешно конкурируют с натуральными тканями. По химическому составу волокон наиболее распространенные СТ подразделяют на следующие группы: полиамидные (капрон, анид), полиэфирные (лавсан), полиакрилонитрильные (нитрон), полихлорвиниловые (хлорин) и полипропиленовые [2, 3].

До недавнего времени СТ соединяли нитками на швейных машинах. Однако такой способ имеет существенные недостатки [1, 3]. Так, при ниточном соединении тканей, обладающих большой упругостью, неизбежно образуются волнистость и гофры, что приводит к неудовлетворительному внешнему виду швов. При этом СТ морщатся и разрушаются, особенно если строчка идет по утку. При большой (0,3 м/с) скорости прохода нити через ушко иголки происходит разогрев нити и ткани, который обусловлен теплотой, выделяемой при трении. Разогрев может быть настолько значительным, что нить оплавится и оборвется.

Попытки уменьшить разогрев путем охлаждения иглы струей холодного воздуха и применения различных смазок приводят к усложнению конструкции швейных машин, загрязнению тканей или коррозионному повреждению игл. Часто из-за дефицита синтетических нитей ткани сшивают хлопчатобумажными нитями, вследствие чего существенно снижается прочность, и ухудшаются эксплуатационные свойства соединений СТ.

При сшивании тканей технического назначения, пропитанных различными составами с целью придания им специальных свойств, а также при изготовлении изделий, требующих герметичности соединения (например, в фильтрах для жидких и газовых сред), использование нитей становится неприемлемым [1, 4, 5].

При пошиве одежды из синтетических материалов швейные нити должны иметь тот же химический состав, что и ткань. В противном случае появляется морщинистость швов в процессе сшивания или после стирки и чистки вследствие различной усадки нитей и тканей. Эти дефекты плохо устраняются последующей влажной и теплой обработкой [1, 4].

В связи с перечисленными недостатками ниточных соединений СТ все большее распространение получают безниточные способы сварки: термоконтактный, высокочастотный и ультразвуковой. Самым перспективным из них является ультразвуковая сварка (УЗС), позволяющая устранить большую часть указанных недостатков при обеспечении требуемой прочности швов.

Кроме того, отказ от использования швейных нитей при соединении СТ устраняет такие проблемы, как подбор нитей по диаметру иглы, толщине, цвету и химическому составу, перезаправка нитей при их обрыве или окончании; обрезание нитей и фиксацию их концов и др. [4, 6].

Одним из лучших способов УЗС, позволяющим изготавливать изделия из СТ с прямолинейными и криволинейными швами большой протяженности, является шовная сварка [6, 7].

Согласно классификации способов УЗС, разработанной сотрудниками кафедры «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана, сварку подразделяют на прессовую и непрерывную. *Прессовую сварку* выполняют за одно рабочее движение волновода-инструмента (далее волновод), получая точечные, прямолинейные и замкнутые швы разного контура.

Непрерывную сварку классифицируют по трем основным признакам: степени механизации и способам перемещения свариваемого материала и дозирования вводимой энергии [3, 7].

По степени механизации непрерывную УЗС подразделяют на ручную и механизированную. При непрерывной УЗС швы получают путем перемещения сварного узла вручную, жестко закрепляя изделие на опоре. При механизированной УЗС, как правило, изделие перемещают с помощью специального механизма, оставляя неподвижным сварочный узел.

По способу перемещения свариваемого материала УЗС бывает шовно-шаговой и шовной. Первый способ совмещает в себе прессовую сварку с перемещением материала на определенный шаг, который подбирают так, чтобы обеспечить перекрытие швов. При использовании схемы «на протяг» изделие протягивают между опорой и рабочим торцом волновода, соединенным с механизмом перемещения. При УЗС с вращающимся роликом-опорой свариваемый материал перемещается специальным роликом, служащим одновременно и опорой [3, 8].

По способу дозирования вводимой механической энергии УЗС подразделяют на сварку с фиксированными параметрами — зазором и осадкой. Схему с фиксированным зазором можно применять как при шовно-шаговой сварке, так и при шовной, а схему с фиксированной осадкой — только при шовно-шаговой.

Из всех перечисленных способов наиболее часто для сварки СТ применяют шовную УЗС

с фиксированным зазором. Этот способ характеризуется относительной простотой, позволяет регулировать скорость сварки и получать соединения любой протяженности и конфигурации [8, 9].

Цель работы — получение высококачественных сварных соединений при шовной УЗС синтетических тканей.

Оборудование для шовной УЗС синтетических тканей. Исследование свариваемости лавсановой, капроновой и полипропиленовой тканей толщиной 600 мкм проводили на непрерывной шовной сварочной установке УПШ-12, разработанной на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана (рис. 1).

Особенность машины УПШ-12 состоит в том, что для увеличения прочности сварного соединения за волноводом 3 установлен прокатывающий ролик 6, закрепленный на кронштейне станины 11. Так как СТ имеют большую теплоемкость и малый коэффициент теплоотдачи, сварной шов подходит к этому ролику еще не остывшим, и прокатка происходит при повышенной температуре.

В результате прокатки прочность соединения становится больше на 4...7 %, чем у шва, полученного без прокатки. Предусмотрено регулирование положения прокатывающего ро-

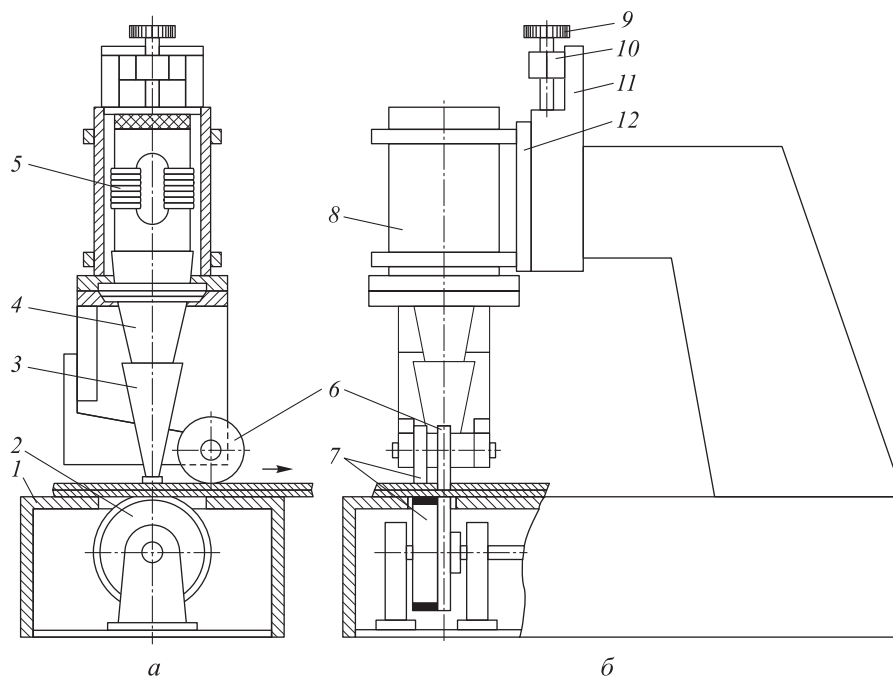


Рис. 1. Схема сварочной машины УПШ-12:

а — вид спереди; б — вид сбоку; 1 — рабочий стол; 2 — ролик-опора; 3 — волновод; 4 — трансформатор упругих колебаний; 5 — пьезокерамический преобразователь; 6 и 7 — прокатывающий и протягивающие ролики; 8 — ограждение преобразователя; 9 — установочный винт; 10 — гайка; 11 — станина; 12 — подвижная панель

лика в зависимости от толщины ткани, что позволяет прокатывать ее при УЗС с разной силой прижима. Установочный винт 9 служит для регулирования зазора между торцом волновода и роликом-опорой 2 до 5 мм.

Машина УПШ-12 укомплектована пьезокерамическим преобразователем 5 мощностью 0,4 кВт, приводимым в действие ультразвуковым генератором ИЛ10-0,4 массой 6,2 кг, разработанным фирмой «Ультразвуковая техника ИНЛАБ» (г. Санкт-Петербург). Этот генератор, изготовленный с использованием полевых транзисторов, обеспечивает выходную мощность от 0,1 до 10,0 кВт, позволяя оперативно регулировать все рабочие параметры.

Для исследования применяли генератор ИЛ10-0,4 мощностью 400 Вт, оснащенный плавной регулировкой акустической мощности (что очень важно при сварке СТ), цифровым частотомером, аналоговым индикатором резонанса акустической системы, фазовой автоподстройкой частоты и источником поляризации с выходным током до 30 А. Охлаждение генератора — воздушное принудительное, рабочая частота 22 кГц. Генератор ИЛ10-0,4 позволяет выбирать режим работы ультразвукового оборудования для сварки СТ, при котором коэффициент полезного действия акустического узла будет максимальным.

Машина УПШ-12, применяемая на горнообогатительных фабриках для УЗС фильтровальных рубашек из СТ со швами длиной 5 м и функционирующая без водяного охлаждения, обеспечивает достаточную прочность изделий. Высокая эффективность машины обусловлена в первую очередь добротностью ультразвуковой пьезокерамической колебательной системы и малыми собственными потерями. Результаты исследования высокодобротных колебательных систем, используемых для сварки СТ, позволили выявить оптимальные параметры режима УЗС.

Особенности шовной УЗС синтетических тканей. Оптимальными параметрами режима непрерывной шовной УЗС являются: A — амплитуда колебаний рабочего торца волновода, мкм; f — частота колебаний, кГц; v — скорость сварки, м/с; $p_{ст}$ — статическое сварочное давление, МПа. Эти параметры определяли в процессе шовной УЗС тканей трех видов: капроновой, лавсановой и полипропиленовой толщиной 600 мкм. В качестве параметра оптимизации выбрали прочность соединения на расслаивание [3, 5].

При исследовании влияния одного из параметров режима сварки на прочность соединения его значения варьировали, а два других параметра поддерживали постоянными [3, 5]. Пределы изменения параметров задаются значениями, соответствующими максимальной прочности свариваемых СТ. Последовательность выбора параметров для определения стабильности и наилучшего режима сварки может быть разной.

Частота колебаний зависит от используемого генератора и, как правило, остается неизменной ($f = 22$ кГц). Постоянные параметры, в каждом случае подбираемые методом последовательного приближения, близки к оптимальным. Например, амплитуда $A = 30 \dots 40$ мкм.

Примерно в таких же пределах лежат и значения оптимальных амплитуд мощных магнито-стрикционных преобразователей. Разные ткани сваривают при неодинаковых амплитудах колебаний волновода, что можно объяснить их различной температурой плавления $T_{пл}$. У полипропиленовой ткани $T_{пл} = 165$ °С, у капроновой — 215 °С, у лавсановой — 260 °С [2, 8].

Оптимальные значения статического сварочного давления $p_{ст}$ у различных материалов примерно одинаковы и составляют около 2...4 МПа. На машине УПШ-12 статическое давление создается путем зазора между волноводом и роликом-опорой, равно примерно половине суммарной толщины свариваемой СТ.

Оптимальная скорость сварки $v_{св}$ невелика и для всех тканей составляет около 20 м/ч, в то время как на мощных установках скорость сварки достигает 50 и даже 100 м/ч. Увеличение этого параметра обычно обеспечивается повышением статического сварочного давления. Однако такой прием у высокодобротных колебательных систем приводит к резкому снижению амплитуды колебаний волновода.

Это связано с тем, что с ростом статического сварочного давления возрастает сопротивление акустической нагрузки, которая ввиду малого сопротивления собственных потерь таких систем начинает сильно сказываться на режиме работы сварочных машин [4, 6]. Таким образом, в условиях, когда требуется высокая производительность процесса, для сварки СТ надо применять мощные источники питания (400 Вт и более) и металлические магнито-стрикционные преобразователи.

Прочность сварных соединений СТ зависит также от материала, применяемого для изго-

товления волновода и ролика-опоры. Высота и форма ролика-опоры практически не влияют на прочность шва. При выборе материала волновода для сварки тканей следует учитывать два положения.

Во-первых, если волновод выполнен из материала, для которого характерны большие гистерезисные потери (например, из стали), то при длительной работе происходит его разогрев, и теплоотвод из зоны сварки ухудшается. Так как продолжительность воздействия ультразвуком на материал остается постоянной, ухудшение теплоотвода приводит к чрезмерному плавлению и продавливанию зоны сварного шва, вследствие чего его прочность уменьшается.

Во-вторых, расчет геометрических размеров волновода из условия резонанса осуществляется без учета потерь энергии в его материале [4, 10].

Иногда возникает необходимость многослойной сварки СТ. В связи с этим исследовали свариваемость трикотажно-лавсановой ткани, применяемой для фильтрации стерильно чистых веществ. Установили, что с ростом числа слоев время сварки повышается, а прочность отдельных слоев определяется изменением характера тепловыделения и теплоотвода при увеличении числа слоев ткани.

Так, при трехслойной сварке лавсановой ткани (как и при двухслойной) оптимальная прочность при расслаивании первого слоя, равная 7,0 МПа, достигается за время $t_{св} = 0,4$ с. При этом прочность второго слоя составляет 5,2 МПа, а третьего — 3,0 МПа. Возрастание времени сварки до 0,6 с приводит к снижению прочности у первого слоя и повышению у второго, причем их прочность становится одинаковой и равной 6,2 МПа.

При $t_{св} = 0,7$ с второй слой имеет максимальную прочность, равную 6,2 МПа, тогда как у первого и третьего слоев этот параметр составляет 4,2 МПа. При $t_{св} = 0,8$ с происходит почти полное продавливание первого слоя, и его прочность падает до 3,0 МПа. У третьего слоя прочность достигает максимального значения, равного 4,8 МПа, а у второго слоя она уменьшается до 6,0 МПа. Аналогичная картина наблюдается и при сварке четырех слоев этой СТ.

Значительное влияние на прочность сварных соединений тканей оказывает наличие в них нетермопластичных составляющих (например, хлопка), а также специальных покрытий. В связи с этим сравнивали свариваемость двух тканей

толщиной 400 мкм — чистой лавсановой и содержащей 33 % хлопка и 67 % лавсана. Испытания на сдвиг проводили на накладных сварных швах.

Добавление хлопка привело к возрастанию времени сварки с 0,2 (для чистой лавсановой ткани) до 0,6 с, причем максимальная прочность снизилась с 5,6 до 4,0 МПа. Установлено, что для повышения прочности соединений тканей с добавками хлопка следует увеличивать их толщину. Так, при сварке ткани, состоящей из 67 % лавсана и 33 % хлопка, но имеющей толщину 600 мкм, максимальная прочность достигала 5,8 МПа за время $t_{св} = 0,8$ с.

Следует отметить, что падение прочности после достижения максимума с ростом времени сварки тканей с хлопком происходит менее резко, чем при УЗС чистой лавсановой ткани. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что хлопковые нити препятствуют полному проплавлению и продавливанию термопластичной составляющей СТ [1, 2].

В зависимости от назначения тканей применяют различные конструкции сварных швов, среди которых самыми распространенными являются стачные (рис. 2, а) и накладные (рис. 2, б). Значения прочности этих швов для рассматриваемых тканей приведены в таблице.

Как следует из таблицы, у накладных швов прочность почти на 50 % больше, чем у стачных. Это обусловлено разной работой этих швов при воздействии на них растягивающей нагрузки. В случае приложения растягивающей нагрузки к верхнему и нижнему слоям ткани в направлении, перпендикулярном шву (по такой схеме проводили испытания), стачные швы работают на расслаивание, а накладные — в основном на сдвиг.

Схемы стачных и накладных сварных швов СТ, а также испытания последних приведены на рис. 2, а–в, где P — внешняя нагрузка, а P_1 и P_2 — ее составляющие. Составляющая P_1 (см. рис. 2, в), возникающая вследствие перехода шва в равновесное положение под действием реактивного момента, составляет не более 17 %

Значения прочности швов для различных тканей

Тип ткани (артикул)	Прочность шва, МПа	
	накладного	стачного
Лавсановая (21710/3)	13,8	7,2
Капроновая (22059)	16,0	8,8
Полипропиленовая (24259/1)	12,3	6,0

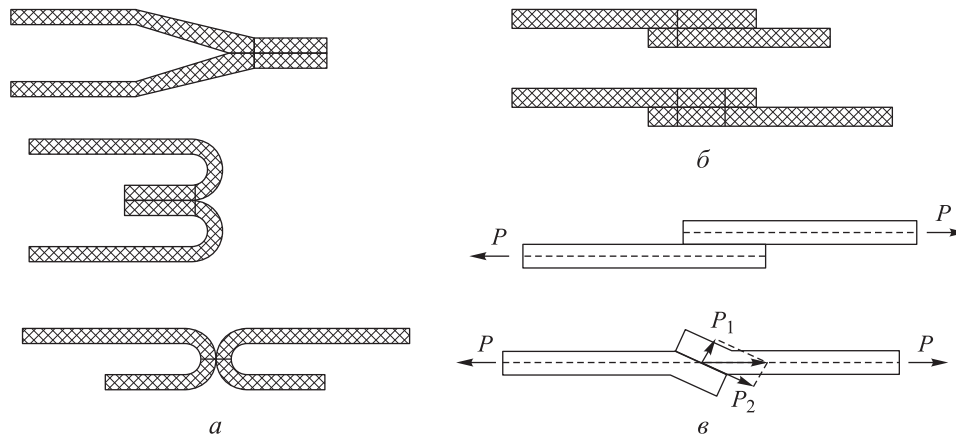


Рис. 2. Схемы:

a и *б* — стачных и накладных сварных швов синтетических тканей; *в* — испытания накладных сварных швов

внешней нагрузки P , поэтому расслаиванием можно пренебречь.

Основным фактором, характеризующим прочность соединений, является количество энергии, вводимой в свариваемый материал в процессе шовной УЗС. Это количество энергии, определяемое сочетанием основных параметров режима сварки, по-видимому, не зависит от ее схемы.

Необходимо учитывать, что время воздействия ультразвуковых колебаний при шовной УЗС есть время нахождения материала под волноводом, которое зависит от длины рабочего торца волновода l и скорости сварки: $v_{св} = l/t_{опт.св}$, где $t_{опт.св}$ — оптимальное время воздействия ультразвуковых колебаний.

В процессе шовной УЗС соединения формируются при постоянном и равномерном перемещении свариваемого материала под волноводом. В связи с этим, во-первых, возникает необходимость установить, как сильно различаются распределения температур по толщине ткани и как влияют перемещение материала, параметры УЗС и зазор между волноводом и роликом-опорой Δ на выделение тепла в зоне сварки и на подогрев соседних с ней участков ткани.

Во-вторых, статическое сварочное давление при шовной УЗС зависит от скорости сварки и фиксированного зазора между волноводом и роликом-опорой. Причем с увеличением скорости сварки и уменьшением зазора статическое давление должно повышаться, и наоборот. Поэтому для расчета скорости шовной сварки надо знать зависимость $p_{ст} = f(v_{св}, \Delta)$, позволяющую точно определить статическое давление при известных значениях скорости УЗС и зазора между волноводом и роликом-опорой.

Следует отметить, что зависимость $p_{ст} = f(v_{св}, \Delta)$ определяется также жесткостью установки, являющейся индивидуальной характеристикой каждой сварочной машины. Этим, вероятно, можно объяснить трудности, возникающие при сравнении экспериментальных данных, полученных разными исследователями [4, 5, 10].

В-третьих, необходимо проследить, как влияют температурные условия и параметры режима шовной УЗС на прочность соединений, а также определить оптимальное сочетание основных параметров режима сварки, соответствующее получению наиболее прочных швов.

Методика экспериментального исследования процесса шовной УЗС. Методика проведения испытаний заключалась в следующем. На первом этапе устанавливали зависимость статического давления от скорости сварки и фиксированного зазора между волноводом и роликом-опорой. Затем проводили термографирование циклов УЗС при разном сочетании параметров режима сварки и зазора Δ . Параллельно с термографированием сваривали образцы для исследования прочности сварных соединений и изготовления срезов швов.

Эксперименты выполняли на машине УПШ-12. Сварку проводили ножевым ступенчатым волноводом, изготовленным из титанового сплава ВТ-5, с рабочим торцом шириной 4 мм и длиной 20 мм. Значение зазора между волноводом и роликом-опорой контролировали металлическим щупом с точностью до 0,01 мм.

Термопары в образцах устанавливали по оси предполагаемого шва двумя способами. В первом случае (для исследования распределения

температур по толщине ткани) термопары размещали на границе раздела и поверхностях ткани строго одна под другой, во втором (для определения степени подогрева соседних участков ткани) — на границе раздела на расстоянии 5 и 10 мм относительно друг друга.

В связи с тем что при шовной УЗС материал перемещается, возникла необходимость проследить изменение температуры в определенном сечении материала при прохождении его под волноводом и зафиксировать время воздействия ультразвуковых колебаний в этом сечении. Запись термических циклов шовной сварки проводили с помощью светолучевого осциллографа, а время воздействия ультразвуковых колебаний на определенное сечение материала контролировали электрическим секундомером-таймером.

Сравнивать результаты исследования, полученные при разных схемах УЗС, можно только в случае одинаковых условий сварки. В частности, следует соблюдать соответствие основных параметров режима шовной УЗС: амплитуды колебания рабочего торца волновода, статического сварочного давления, времени воздействия ультразвуковых колебаний и скорости сварки.

Результаты исследования. Влияние скорости шовной УЗС и зазора между волноводом и роликом-опорой на статическое сварочное давление изучали путем изменения основных параметров режима сварки. Интервалы их варьирования выбирали следующим образом.

Максимальную амплитуду колебаний рабочего торца волновода A_{\max} находили из условия оптимальной производительности процесса сварки. Минимальное значение фиксированного зазора Δ_{\min} определяли нормальным прохождением слоев ткани между волноводом и роликом-опорой. Максимальное значение фиксированного зазора Δ_{\max} соответствовало началу образования сварного соединения. Нижнюю границу скорости УЗС $v_{\text{св min}}$ при наименьшем значении зазора выбирали из условия полного проплавления зоны шва.

В результате получили следующие граничные значения основных параметров шовной УЗС: $A_{\max} = 30$ мкм; $\Delta_{\min} = 0,95$ мм; $\Delta_{\max} = 1,35$ мм; $v_{\text{св min}} = 14,4$ м/ч; максимальная скорость УЗС $v_{\text{св max}} = 47,9$ м/ч.

Зависимость статического сварочного давления от скорости сварки при различных значениях фиксированного зазора Δ приведена на рис. 3.

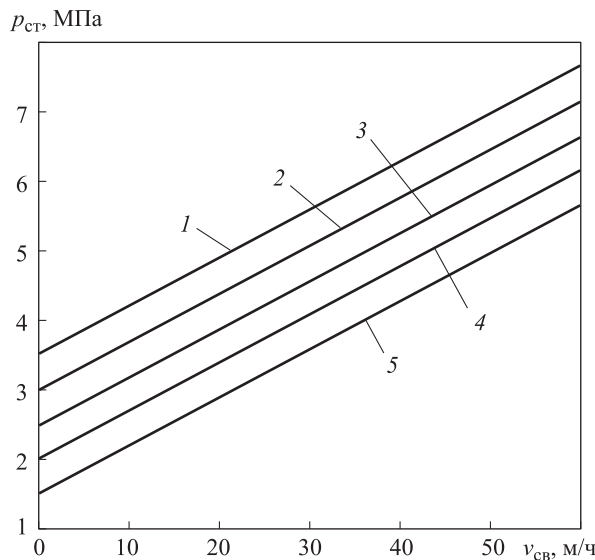


Рис. 3. Зависимость статического сварочного давления $p_{\text{ст}}$ от скорости шовной УЗС $v_{\text{св}}$ при фиксированном зазоре между волноводом и роликом-опорой $\Delta = 0,9$ (1), 1,0 (2), 1,1 (3), 1,2 (4) и 1,3 мм (5)

Как видно из рис. 3, с увеличением скорости сварки и уменьшением фиксированного зазора статическое сварочное давление возрастает.

Влияние параметров режима УЗС на интенсивность тепловыделения в зоне сварки исследовали путем сопоставления кривых температур на границе раздела соединяемых поверхностей, полученных при термографировании циклов шовной УЗС для различных режимов.

Зависимости температуры на границе раздела соединяемых поверхностей от времени воздействия ультразвуковых колебаний при различном сочетании параметров режима шовной УЗС приведены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, при различном сочетании скорости сварки и фиксированного зазора максимальные температуры на границе раздела соединяемых поверхностей практически одинаковы и составляют 290...310 °С. В то же время уменьшение зазора между волноводом и роликом-опорой и увеличение скорости сварки (что соответствует повышению статического сварочного давления при шовной сварке) способствуют снижению времени достижения максимальной температуры в зоне сварки. При шовной УЗС также соблюдается условие равенства максимальных температур на границе раздела с соответствующими температурами [4, 9–13].

Из рис. 4 следует, что в начальный момент нахождения ткани под волноводом граница раздела разогревается незначительно, а затем происходит интенсивный рост температуры в

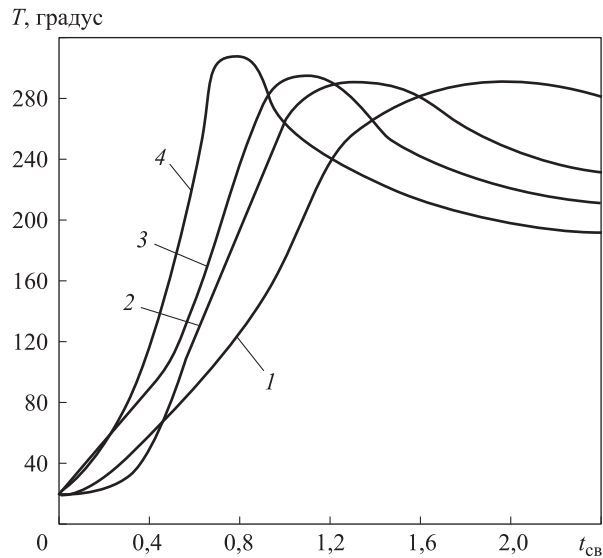


Рис. 4. Зависимость температуры T на границе раздела соединяемых поверхностей от времени воздействия ультразвуковых колебаний $t_{св}$ при амплитуде $A = 30$ мкм и различных значениях скорости шовной УЗС и фиксированного зазора:

1 — $v_{св} = 14,4$ м/ч, $\Delta = 1,20$ мм; 2 — $v_{св} = 18,0$ м/ч, $\Delta = 1,10$ мм; 3 — $v_{св} = 28,4$ м/ч, $\Delta = 1,00$ мм; 4 — $v_{св} = 38,4$ м/ч, $\Delta = 0,95$ мм

зоне соединения. Причем с возрастанием скорости сварки и уменьшением зазора между волноводом и роликом-опорой повышается интенсивность тепловыделения на границе раздела.

Такой характер нарастания температуры в зоне сварки, по-видимому, обусловлен неравномерностью статического давления по длине волновода. В свою очередь, неравномерность статического давления объясняется переменным по длине волновода зазором, так как у ролика-опоры поверхность криволинейная, а рабочий торец волновода представляет собой горизонтальную плоскость.

Основные параметры режима — скорость сварки и фиксированный зазор между волноводом и роликом-опорой, обеспечивающие статическое сварочное давление при шовной УЗС, взаимосвязаны. Отклонение одного из двух параметров от оптимального значения автоматически приводит к изменению статического сварочного давления.

Возрастание температуры в зоне УЗС с повышением скорости сварки и уменьшением фиксированного зазора, вероятно, можно объяснить ростом статического давления. Это способствует улучшению акустического контакта и увеличению количества энергии вводимой в свариваемый материал.

Специфическая особенность шовной УЗС заключается в том, что разогрев материала происходит динамически, т. е. при перемещении материала. В связи с этим потребовалось выяснить следующее: как распределены температуры на границе раздела соединяемых поверхностей в момент прохождения ткани под

волноводом и не оказывает ли перемещение материала подогревающего воздействия на соседние участки шва. Для этого термопары на границе раздела располагали так, чтобы при прохождении материала можно было проследить изменение температуры одновременно по длине волновода в трех точках: в начале, середине и конце.

Достижение максимальной температуры на границе соединяемых поверхностей происходит в определенный момент нахождения ткани под волноводом. При этом характер нарастания температуры в зоне сварки и ее максимальное значение для каждого из трех исследованных сечений материала оказались одинаковыми.

Следует отметить, что такая закономерность наблюдалась и при других сочетаниях параметров режима. Отсюда можно заключить, что перемещение материала под волноводом не оказывает подогревающего воздействия на близлежащие участки шва.

Выводы

1. Исследовано влияние скорости сварки и фиксированного зазора между волноводом и роликом-опорой на статическое сварочное давление.

2. Метод шовной УЗС с фиксированным зазором является относительно простым, позволяет регулировать скорость сварки и получать швы любой протяженности и конфигурации.

3. При шовной УЗС лавсановой, капроновой и полипропиленовой тканей толщиной 600 мкм оптимальная свариваемость обеспечивается при одинаковых толщине тканей, схеме сварки, типе

сварочных преобразователей в следующем режиме: амплитуда колебаний рабочего торца волновода $A = 25...30$ мкм, статическое сварочное давление $p_{ст} = 3$ МПа, фиксированный зазор между

волноводом и роликом-опорой $\Delta = 1,2$ мм, скорость сварки $v_{св} = 20$ м/ч.

4. Высота и форма ролика-опоры практически не влияют на прочность сварных соединений.

Литература

- [1] Комаров Г.В. *Способы соединений деталей из пластических масс*. Москва, Химия, 2007. 288 с.
- [2] Крыжановский В.К., Бурлов В.В. *Технические свойства полимерных материалов*. Санкт-Петербург, Профессия, 2005. 235 с.
- [3] Волков С.С. *Сварка и склеивание полимерных материалов*. Москва, Химия, 2001. 376 с.
- [4] Волков С.С., Бигус Г.А. Технология и оборудование для ультразвуковой контурной сварки изделий из АБС-пластика. *Сварочное производство*, 2016, № 9, с. 43–49.
- [5] Волков С.С., Коновалов А.В., Выборнов А.П. Методика расчета параметров режима ультразвуковой сварки изделий из полимерных материалов. *Сварка и диагностика*, 2016, № 2, с. 35–39.
- [6] Volkov S.S. Main methods and technological features of welding dissimilar plastic. *Welding International*, 2008, no. 22(3), pp. 193–197, doi: 10.1080/09507110802065561
- [7] Volkov S.S. Ultrasonic cutting with simultaneous welding of plastic components. *Welding International*, 2012, no. 26(4), pp. 322–324, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.606161>
- [8] Volkov S.S. Main welding parameters of ultrasound contour welding of polyethylene vessels. *Welding International*, 2011, no. 25(11), pp. 898–902, doi: 10.1080/09507116.2011.581433
- [9] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding International*, 2013, no. 27(9), pp. 720–724, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.753281>
- [10] Volkov S.S., Shestel' L.A., Sokolov V.A. Heated tool ultrasonic welding of elastic containers produced from fluoroplastic film. *Welding International*, 2016, vol. 30(6), pp. 492–496, doi: 10.1080/09507116.2015.1090180
- [11] Волков С.С. Влияние режима ультразвуковой шовной сварки пленок на образование швов и производительность процесса. *Сварочное производство*, 2013, № 11, с. 38–42.
- [12] Волков С.С., Бигус Г.А. Влияние физико-механических свойств при ультразвуковой сварке разнородных пластмасс на процесс теплообразования. *Технология машиностроения*, 2016, № 2, с. 33–36.
- [13] Волков С.С., Неровный В.М., Ремизов А.Л. Влияние акустической мощности сварочного узла на свариваемость пластмасс при ультразвуковой сварке. *Сварка и диагностика*, 2017, № 5, с. 25–29.

References

- [1] Komarov G.V. *Sposoby soyedineniy detaley iz plasticheskikh mass* [Methods of joining plastic parts]. Moscow, Khimiya, 2007. 288 p.
- [2] Kryzhanovskiy V.K., Burlov V.V. *Tekhnicheskiye svoystva polimernykh materialov* [Technical properties of polymeric materials]. Sankt-Petersburg, Professiya publ., 2005. 235 p.
- [3] Volkov S.S. *Svarka i skleivaniye polimernykh materialov* [Welding and bonding of polymeric materials]. Moscow, Khimiya publ., 2001. 376 p.
- [4] Volkov S.S., Bigus G.A. Technology and equipment for ultrasonic contour welding of the products made of ABS-plastic. *Svarochnoye proizvodstvo*, 2016, no. 9, pp. 43–49 (in Russ.).
- [5] Volkov S.S., Konovalov A.V., Vybornov A.P. The method of calculating the parameters of the mode of ultrasonic welding of products from polymeric materials. *Welding and diagnostics*, 2016, no. 2, pp. 35–39.
- [6] Volkov S.S. Main methods and technological features of welding dissimilar plastic. *Welding International*, 2008, no. 22(3), pp. 193–197, doi: 10.1080/09507110802065561

- [7] Volkov S.S. Ultrasonic cutting with simultaneous welding of plastic components. *Welding International*, 2012, no. 26(4), pp. 322–324, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2011.606161>
- [8] Volkov S.S. Main welding parameters of ultrasound contour welding of polyethylene vessels. *Welding International*, 2011, no. 25(11), pp. 898–902, doi: [10.1080/09507116.2011.581433](https://doi.org/10.1080/09507116.2011.581433)
- [9] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding International*, 2013, no. 27(9), pp. 720–724, doi: <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.753281>
- [10] Volkov S.S., Shestel' L.A., Sokolov V.A. Heated tool ultrasonic welding of elastic containers produced from fluoroplastic film. *Welding International*, 2016, vol. 30(6), pp. 492–496, doi: [10.1080/09507116.2015.1090180](https://doi.org/10.1080/09507116.2015.1090180)
- [11] Volkov S.S. Effect of the ultrasonic seam welding conditions of polymer films on seam formation and process flow. *Svarochnoye proizvodstvo*, 2013, no. 11, pp. 38–42 (in Russ.).
- [12] Volkov S.S., Bigus G.A. Influence of physical and mechanical properties in ultrasonic welding of dissimilar plastics on the process of heat formation. *Tekhnologiya mashinostroyeniya*, 2016, no. 2, pp. 33–36 (in Russ.).
- [13] Volkov S.S., Nerovnyy V.M., Remizov A.L. Influence of the acoustic power of the welding unit on the weldability of plastics during ultrasonic welding. *Svarka i diagnostika*, 2017, no. 5, pp. 25–29 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 21.11.2018

Информация об авторах

ВОЛКОВ Станислав Степанович — кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: map@bmstu.ru).

РОЗАНОВ Дмитрий Сергеевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: rozanovds@rambler.ru).

ШЕСТЕЛЬ Леонид Александрович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технология сварочного производства». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, пр-т Мира, д. 11, e-mail: weldtech@mail.ru).

Information about the authors

VOLKOV Stanislav Stepanovich — Candidate of Science (Eng.), Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: map@bmstu.ru).

ROZANOV Dmitriy Sergeevich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: rozanovds@rambler.ru).

SHESTEL Leonid Aleksandrovich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg.11, e-mail: weldtech@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Волков С.С., Розанов Д.С., Шестель Л.А. Разработка технологии и оборудования для шовной ультразвуковой сварки синтетических тканей. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 7, с. 25–34, doi: [10.18698/0536-1044-2019-7-25-34](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2019-7-25-34)

Please cite this article in English as:

Volkov S.S., Rozanov D.S., Shestel L.A. The Development of Technology and Equipment for Ultrasonic Seam Welding of Synthetic Fabrics. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 7, pp. 25–34, doi: [10.18698/0536-1044-2019-7-25-34](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2019-7-25-34)