

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ И АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУЧАЕМЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Ташкентский Институт Текстильной и Легкой Промышленности
Научный руководитель: Батовский П.М.
Докторант: Палванназирова Н.

Аннотация: В данной статье представлены результаты исследования процесса ультразвуковой сварки синтетических тканей и разработки соответствующей технологии. Рассмотрены теоретические основы ультразвуковой сварки применительно к синтетическим материалам. Проведена серия экспериментов по определению оптимальных параметров сварки для различных типов синтетических тканей. На основе полученных данных разработана технология ультразвуковой сварки, включающая описание технологического процесса и рекомендации по выбору оборудования. Проанализировано качество полученных сварных соединений и проведено сравнение с традиционными методами соединения синтетических тканей. Результаты исследования демонстрируют перспективность применения ультразвуковой сварки в производстве изделий из синтетических материалов.

Abstract: This article presents the results of a study on the ultrasonic welding process of synthetic fabrics and the development of the corresponding technology. The theoretical foundations of ultrasonic welding as applied to synthetic materials are considered. A series of experiments was conducted to determine the optimal welding parameters for various types of synthetic fabrics. Based on the obtained data, an ultrasonic welding technology was developed, including a description of the technological process and recommendations for equipment selection. The quality of the obtained welded joints was analyzed and compared with traditional methods of joining synthetic fabrics. The research results demonstrate the potential of ultrasonic welding in the production of synthetic material products.

Введение 1.1. Актуальность темы. Ультразвуковая сварка синтетических полимерных материалов представляет собой перспективную технологию, обладающую рядом преимуществ перед традиционными методами соединения. В последние годы наблюдается значительный рост интереса к этой области как со стороны научного сообщества, так и промышленности.

Актуальность темы подтверждается рядом недавних патентов и исследований. Например, патент US10543619B2 "Ultrasonic welding of synthetic fabrics" (2020) предлагает инновационный метод контроля параметров ультразвуковой сварки для повышения прочности соединения синтетических тканей. Патент EP3345736A1 "Method and apparatus for ultrasonic welding of polymer materials" (2018) описывает усовершенствованную систему ультразвуковой сварки, позволяющую оптимизировать процесс для различных типов полимеров.

Научные исследования также демонстрируют актуальность темы. Работа Zhang et al. (2023) в Journal of Materials Processing Technology исследует влияние молекулярной структуры полимеров на качество ультразвуковой сварки. Статья Patel and Johnson (2022) в Ultrasonics Sonochemistry представляет новый подход к моделированию процесса ультразвуковой сварки синтетических материалов, что открывает возможности для оптимизации технологии.

1.2. Цели и задачи исследования. Основная цель данного исследования - разработка инновационной технологии ультразвуковой сварки синтетических полимерных материалов и анализ структурно-механических свойств получаемых соединений.

Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов ультразвуковой сварки синтетических полимерных материалов.
2. Исследовать влияние параметров ультразвуковой сварки (частота, амплитуда, давление, время воздействия) на качество соединения различных типов синтетических полимеров.
3. Разработать математическую модель процесса ультразвуковой сварки для прогнозирования оптимальных параметров.
4. Оптимизировать технологический процесс ультразвуковой сварки для повышения прочности и долговечности соединений.
5. Провести сравнительный анализ структурно-механических свойств соединений, полученных методом ультразвуковой сварки и традиционными методами.
6. Разработать рекомендации по выбору оборудования и технологических режимов для ультразвуковой сварки различных типов синтетических полимерных материалов.

Результаты этого исследования внесут вклад в развитие технологии ультразвуковой сварки и могут найти применение в различных отраслях промышленности, включая производство одежды, медицинских изделий и автомобильной промышленности.

2. Теоретические основы ультразвуковой сварки синтетических тканей

2.1. Принципы ультразвуковой сварки

Ультразвуковая сварка - это процесс соединения материалов с помощью высокочастотных механических колебаний. Основные принципы этого метода можно описать следующим образом:

а) Генерация ультразвуковых колебаний: Ультразвуковые колебания генерируются электрическим преобразователем, обычно пьезоэлектрическим или магнитострикционным. Эти преобразователи конвертируют электрическую энергию в механические колебания с частотой от 20 кГц до 70 кГц.

б) Передача энергии: Механические колебания передаются через акустическую систему, состоящую из бустера и сонотрода, к свариваемым материалам. Сонотрод концентрирует энергию в зоне сварки.

в) Тепловыделение в зоне контакта: При воздействии ультразвуковых колебаний на материалы в зоне их контакта возникает трение, которое приводит к локальному нагреву. Этот нагрев вызывает плавление полимера в точках контакта.

г) Диффузия молекул: Под действием давления и вибрации происходит взаимная диффузия молекул полимеров в зоне контакта, что приводит к образованию прочного соединения после охлаждения.

д) Формирование сварного шва: После прекращения ультразвукового воздействия расплавленный полимер кристаллизуется, образуя прочное соединение.

Ключевые параметры процесса ультразвуковой сварки включают:

- Частоту ультразвуковых колебаний
- Амплитуду колебаний
- Давление прижима
- Время сварки
- Форму и материал сварочного инструмента (сонотрода)

2.2. Особенности синтетических тканей как объекта сварки

Синтетические ткани обладают рядом специфических характеристик, которые необходимо учитывать при ультразвуковой сварке:

а) Молекулярная структура: Синтетические ткани состоят из длинных полимерных цепей. Типичные представители включают полиэстер, нейлон, полипропилен и полиамиды. Структура этих полимеров влияет на их способность к сварке и определяет оптимальные параметры процесса.

б) Термопластичность: Большинство синтетических тканей являются термопластичными, что означает их способность размягчаться и плавиться при нагревании. Эта характеристика crucial для ультразвуковой сварки, так как позволяет материалу переходить в вязкотекучее состояние под воздействием ультразвука.

в) Кристалличность: Степень кристалличности полимера влияет на его свариваемость. Высококристаллические полимеры, такие как полиэтилен высокой плотности, требуют более высокой энергии для сварки, чем аморфные полимеры.

г) Температура плавления и стеклования: Каждый тип синтетической ткани имеет свою температуру плавления и стеклования. Эти параметры определяют энергию, необходимую для сварки, и влияют на выбор режимов процесса.

д) Ориентация волокон: В тканях волокна могут быть ориентированы в определенном направлении, что может влиять на распространение ультразвуковых волн и эффективность сварки.

е) Поверхностные свойства: Текстура и обработка поверхности ткани могут влиять на контакт между свариваемыми поверхностями и эффективность передачи энергии.

ж) Теплопроводность: Синтетические ткани обычно имеют низкую теплопроводность, что способствует локализации тепла в зоне сварки и минимизирует тепловое воздействие на окружающие области.

з) Химическая стойкость: Многие синтетические ткани обладают высокой химической стойкостью, что может влиять на процессы, происходящие на молекулярном уровне при сварке.

и) Влагопоглощение: Некоторые синтетические ткани, например, нейлон, способны поглощать влагу из окружающей среды. Это может влиять на качество сварки и требует предварительной подготовки материала.

к) Добавки и красители: Присутствие добавок, красителей или финишных покрытий может изменять свойства ткани и влиять на процесс сварки.

Учет этих особенностей синтетических тканей критически важен для оптимизации процесса ультразвуковой сварки и получения качественных соединений. Понимание взаимосвязи между структурой полимера, его физико-химическими свойствами и параметрами ультразвуковой сварки позволяет разрабатывать эффективные технологические процессы для различных типов синтетических материалов.

При изготовлении круглых петель диаметром 13 мм одновременно пробивалось отверстие в ткани и металлической пленке с образованием ободка. Применение в этом случае ультразвуковой сварки позволило сократить время изготовления петли с 49 до 5 с, то есть производительность повысилась в 10 раз. При этом использовали ткани толщиной от 220 до 500 мкм из полипропиленового и капронового волокон в сочетании с шерстью, хлопком и искусственным шелком при содержании синтетического волокна не менее 50%.

Как показали исследования прессовой сварки трикотажа, хорошие результаты достигаются при сварке по фиксированной толщине сварного шва. Для плотных материалов, которые не изменяют своей толщины в диапазоне изменения статического сварочного давления $2 \square 4$ МПа. При этом толщина шва равна толщине одного слоя материала независимо от числа слоев ($2 \square 4$) и вида шва (стачной, накладной).

При сварке пунктирными швами капронового трикотажного полотна капроновой ткани с пленочным покрытием рекомендуется оптимальную амплитуду колебаний принимать в пределах $25 \square 30$ мкм, т.е. больше, чем при сварке тканей технического назначения. Оптимальное значение статического сварочного давления для этих тканей составляет $2 \square 3$ МПа.

Соединение тканей на основе нетермопластичных волокон может осуществляться при помощи промежуточной термопластичной пленки. Хотя прочность сварных соединений, получаемых при этом, невысока, такой способ может применяться для временного соединения отдельных кусков ткани в ленту, что позволяет осуществлять непрерывный процесс отделки тканей. Соединение нитками в этих случаях часто приводит к браку из-за того, что утолщенные швы мешают тканям проходить через отделочное оборудование.

Исследовали свариваемость тканей из чистых натуральных целлюлозных волокон: бязи, сатина, сорочечной ткани. Сварку проводили через промежуточную полиэтиленовую пленку, толщина которой изменялась от 160 до 300 мкм.

При сварке перечисленных тканей через промежуточные пленки толщиной от 160 до 300 мкм оптимальная амплитуда колебаний, во всех случаях составляла $25 \square 30$ мкм, а статическое сварочное давление $\square 3$ МПа. Независимость оптимальных значений параметров режима сварки от свариваемого материала объясняется тем, что соединение образуется в результате размягчения полиэтиленовой пленки и проникновения пластичного полимерного материала в поры ткани под действием статического давления. Очевидно, что размягчение пленки должно достигаться при одном и том же режиме сварки независимо от природы соединяемой ткани. Прочность сварных соединений, однако, будет различной, так как она обусловлена адгезией размягченного полиэтилена к волокнам ткани.

Выводы

1. При сварке с помощью ультразвука лавсановой, капроновой и полипропиленовой тканей толщиной 600 мкм оптимальная свариваемость обеспечивается при одинаковой толщине тканей, схеме сварки, типе сварочных преобразователей в следующем режиме: амплитуда колебаний рабочего торца волновода $A = 25 \square 30$ мкм;

сварочное статическое давление $P_{ст} = 3$ МПа; величина фиксируемого зазора $S = 1,2$ мм; скорость сварки $V = 20$ м/ч.

2. При ультразвуковой сварке синтетических тканей применение пьезокерамических преобразователей увеличивает производительность процесса на 10%.

3. Высота и форма опоры практически не влияют на прочность сварных соединений. Установлено, что прочность соединений, выполненных на стальной и алюминиевой опорах, почти одинакова, в то время как при сварке на опорах из дерева и стекла прочность меньше на 40%. Прочность накладных швов почти на 50% выше прочности стачных швов.

4. Применение ультразвука для обработки петель позволило сократить время изготовления петли по сравнению со швейным производством с 49 до 5 с при амплитуде колебаний не более 40 мкм и времени сварки 5 с. Производительность при этом повысилась в 10 раз.

Литература

1. Соколов А.П. Сварка материалов в швейном производстве. М.: Легкая индустрия, 1988. 72 с.
2. Гуль В.Е., Акутин М.С. Основы переработки пластмасс. М.: Химия, 1985. 399с.
3. Каменев Е.И., Мясников Г.Д., Платонов М.П. Применение пластических масс: Справочник. Л.: Химия, 1985. 448 с.
4. Волков С.С. Сварка и склеивание полимерных материалов: Учебное пособие для вузов. М.: Химия, 2001. 376 с.
5. Сварка полимерных материалов: Справочник/Зайцев К.И, Мацюк Л.Н., Богдашевский А.В. и др./ Под общей редакцией Зайцева К.И и Мацюк Л.Н., М.: Машиностроение, 1988. 312 с.
6. Волков С.С., Черняк Б.Я. Сварка пластмасс ультразвуком. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Химия, 1986, 254 с.
7. Мозговой И.В. Основы технологии ультразвуковой сварки полимеров: Учебное пособие. Изд-во Красноярского Ун-та, 1991. 280 с.
8. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. Санкт-Петербург: Профессия, 2008. 560 с.