Ультразвуковая сварка изделий из искусственных кож с одновременным тиснением поверхности

Ultrasonic welding of artificial leather products with simultaneous surface embossing

С.С. ВОЛКОВ, Н.В. КОБЕРНИК, А.С. ПАНКРАТОВ

S.S. VOLKOV, N.V. KOBERNIK, A.S. PANKRATOV

МГТУ им. Баумана, г. Москва, Россия
Bauman Moscow State Technical University
bauman@bmstu.ru

Установлено, что искусственные кожи на основе поливинилхлорида относятся к группе полимерных материалов, для которых необходимо в каждом конкретном случае изыскивать оптимальные способы и технологические приемы сварки.

Разработана технология ультразвуковой сварки с одновременным тиснением поверхности искусственных кож, обеспечивающая получение сварных соединений с высокими прочностными показателями и хорошим внешним видом тиснения поверхности кожи.

Ключевые слова: ультразвуковая сварка, искусственные кожи, фиксированная осадка, прочность сварного шва, статическое сварочное давление, амплитуда колебаний волновода

It has been established that artificial leathers based on polyvinyl chloride belong to the group of polymer materials which need finding optimal welding methods and techniques in each specific case.

The technology of ultrasonic welding with simultaneous embossing of the surface of artificial leather has been developed, which provides welded joints with high strength characteristics and a good appearance of embossing of the skin surface.

Keywords: ultrasonic welding, artificial skin, the fixed draft, durability of a welded seam, static welding pressure, amplitude of fluctuations of a wave guide

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-1-2-38-41

Искусственные кожи (ИК) широко применяют в галантерейной, обувной, автомобильной и других отраслях промышленности.

Искусственные кожи представляют собой двухслойный материал в сочетании естественных или синтетических волокон с пластифицированной поливинилхлоридной (ПВХ) пленкой с различными наполнителями и пластификаторами [1].

Так, для изготовления сидений и отделки салона автомобиля применяют ИК на трикотажной основе, эластичной и более износостойкой, чем тканевая основа [1]. Однако резкое отличие показателей механических свойств при растяжении в разных направлениях в условиях эксплуатации отделочных материалов является серьезным недостатком таких ИК [2].

Из всего многообразия материалов, относящихся к искусственным кожа, ограничимся рассмотрением так называемых «мягких» кож, представляющих собой дублированный материал, состоящий из основы и покрытия. Для изделий, не подвергающихся в процессе эксплуатации растягивающим нагрузкам, используют ИК без основы – пленочные материалы, имеющие низкий предел прочности при растяжении и очень высокое удлинение [2, 3].

При повышенных требованиях к прочности изделия применяют ИК с основой из натуральных и синтетических тканей различных переплетений (полотняного, атласного, саржевого) и нетканых материалов [2, 3].

Большую часть (70%) всего ассортимента выпускаемых в настоящее время ИК составляют кожи с поливинилхлоридным (ПВХ) покрытием. ПВХ-покрытие является многокомпонентной системой, включающей добавки стабилизаторов, пластификаторов, наполнителей, модификаторов и других компонентов, введение которых позволяет значительно изменить свойства полимера. Так, в зависимости от вида и количества пластификаторов температура текучести ПВХ-покрытия составляет от 370 до 440 К [4].

Основная трудность при сварке ИК с ПВХ-покрытием заключается в том, что в этом же интервале температур начинает происходить с заметной скоростью и низкотемпературное разложение ПВХ, обусловленное реакцией дегидрохлорирования, протекаю-

щей с сохранением полимерной углеродной цепи и образованием участков сопряженной полиеновой структуры [4, 5].

Поскольку степень разложения полимера зависит не только от температуры, но и от длительности ее воздействия, то, применяя высокоинтенсивные источники энергии, можно сдвигать процессы деструкции в высокотемпературную область. С этой точки зрения наиболее подходящими для сварки ИК с ПВХ-покрытием является сварка ТВЧ и ультразвуком, обеспечивающие скорости нагрева, на 3–4 порядка превышающие скорости нагрева, при которых обычно наблюдаются процессы деструкции ПВХ [1, 6, 7].

Однако сварка ТВЧ позволяет получить качественные соединения только при сварке пленочных ИК без основы и при укладке деталей из ИК «покрытие к покрытию». При укладке деталей «покрытие к нетермопластичной основе» соединение практически не образуется, так как в этом случае не обеспечивается главное условие протекания процесса сварки – физический контакт термопластичных слоев покрытий. Различные приемы, обеспечивающие такой контакт (снятие основы в зоне сварки, пропитка основы полимерными составами, однородными материалу покрытия, использование в качестве основы термопластичного материала, главным образом, нетканого) не получили практического распространения, так как приводят к усложнению технологического процесса и дополнительным затратам [7, 8].

Ультразвуковая сварка выгодно отличается от других способов сварки ИК тем, что позволяет получить высококачественное сварное соединение даже тогда, когда в контакте находятся нетермопластичная основа и термопластичное покрытие. Ультразвуковой сваркой можно успешно сваривать ИК через нетермопластичную основу с термопластичными листовыми или пленочными подложками из материала, совместимого с материалом покрытия ИК, а также при наличии промежуточного слоя, например, из пенополиуретана (ППУ), между слоями ИК или ИК и подложкой. Это обусловлено тем, что при ультразвуковом воздействии на ИК термопластичные покрытия, переходя в вязкотекучее состояние, могут проникать (фильтроваться) через поры основы. В момент, когда

фронты проникающих материалов достигают друг друга, начинается объемное развитие взаимодействия, приводящее к образованию сварного соединения [5, 8].

Цель работы – возможность получения качественного и прочного сварного соединения из искусственной кожи с помощью ультразвуковой сварки с одновременным тиснением поверхности кожи.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что одной из наиболее эффективных схем управления процессом ультразвуковой сварки искусственных кож является отключение ультразвуковых колебаний при достижении толщины сварного шва заданного значения. Это, с одной стороны, исключает влияние разнотолщинности свариваемых материалов, а с другой – влияние параметров режимов сварки [5, 8].

Эксперименты проводились на образцах из искусственных кож марки АИК-С и листового поливинилхлорида (подложка) толщиной 0,8 мм для двух схем укладки образцов – «покрытие к покрытию» и «покрытие к поливинилхлоридной подложке» с одновременной записью температуры в слое полимерного покрытия искусственных кож при помощи термопар группы хромель-копель диаметром 0,1 мм. Ультразвуковую сварку осуществляли на ультразвуковой сварочной машине УПМ-21, разработанной на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана, с магнитострикционным преобразователем ПМС1М, мощностью 1,5 кВт и ножевым волноводом – инструментом из титанового сплава ВТ-5. Ширина сварного шва равна ширине рабочей части волновода 6 мм.

Сварочное статическое давление регулируется пружиной. Сварка при постоянном сварочном давлении позволяет на машине УПМ-21 выдерживать стабильную толщину сварного шва при колебаниях исходной толщины материала до 25%.

В качестве источника питания магнитострикционного преобразователя (сварочного узла) использовали модернизированный серийно выпускаемый фирмой «Ультразвуковая техника ИНЛАБ» (г. Санкт-Петербург) ультразвуковой генератор типа ИЛ 10-1,5 с расширенным диапазоном частот 20...70 кГц, массой 12 кг и габаритными размерами 310×310×160 мм. Генератор оснащен плавной регулировкой мощности до 1,5 кВт, цифровым частотомером и аналоговым индикатором резонанса акустической системы. Он также имеет фазовую автоподстройку частоты колебаний и источник поляризации с выходным током до 30 А. Охлаждение генератора – воздушное, принудительное. Выходная частота может меняться в любую сторону.

В процессе экспериментов частоту УЗ-колебаний контролировали с помощью цифрового частотомера, вмонтированного в генератор ИЛ10-1,5, амплитуду колебаний волноводов-инструментов измеряли с помощью специально разработанных на кафедре «Технологии сварки и диагностики» датчиков [5].

Образцы из искусственной кожи со сварными швами испытывали на сдвиг на разрывной машине с климатической камерой. Во время испытаний поддерживали температуру 293 К и влажность 65%.

По принципу дозирования вводимой ультразвуковой энергии УЗС подразделяется на сварку с фиксированным временем протекания ультразвукового импульса, сварку с фиксированной осадкой, сварку с фиксированным зазором и сварку с дозированием энергии [4, 7].

Основными параметрами УЗС, характеризующими выделение энергии в зоне соединения, являются: амплитуда колебаний рабочего торца волновода – A (мкм); сварочное статическое давление – $P_{ст}$ (МПа); время сварки – $t_{св}$; частота колебаний – f (кГц).

Основные параметры режима взаимосвязаны. Время, необходимое для сварки, зависит от амплитуды колебаний и сварочного давления. Оптимальным параметрам соответствует максимальная прочность и наилучшее качество сварного соединения. Оптимальные параметры режима сварки зависят от свойств свариваемого материала, толщины и формы изделия и др., и устанавливаются в каждом конкретном случае экспериментально применительно к реальным изделиям. Оценка проводится по показателям прочности, деформации, герметичности и др.

При сварке искусственной кожи с дозированием энергии по фиксированному времени (длительность импульса ультразвука определяет реле времени) установили большой разброс прочностных показателей соединения при непродолжительном воздействии ультра-

тразвуковых колебаний на материал (рис. 1). Увеличение времени ультразвуковой сварки стабилизировало прочностные показатели, но они оказались значительно ниже прочности основного материала. Их разброс (около 15%) связан с нестабильностью физико-механических и геометрических характеристик основного материала. Толщина искусственной кожи изменялась от 1,08 до 1,3 мм, при этом время сварки $t_{св}$ составляло 0,9 с, сварочное статическое давление $P_{ст}$ – 3 МПа, амплитуда колебаний волновода A – 30 мкм.

Рис. 1. Зависимость прочности σ сварного соединения от времени сварки $t_{св}$. Режим сварки: $A = 30$ мкм, $P_{ст} = 3$ МПа.

Средняя прочность на сдвиг сварных соединений, полученных при ультразвуковой сварке искусственных кож, имеющих одинаковую толщину 1,15 мм, составляет 6,5 МПа.

Далее исследовали влияние дозирования энергии ультразвуковых колебаний по фиксированной осадке Δ на прочность сварного соединения. Для этого в схему установки внесли следующие изменения: вместо реле времени, регулирующего длительность импульса ультразвука, ввели микровыключатель и микрометрический винт, позволяющие ограничивать фиксированную осадку Δ с точностью до 0,01 мм.

Фиксированную осадку Δ изменяли от 0,1 до 1,8 мм. После достижения свариваемыми образцами заданной осадки ультразвуковые колебания отключали микровыключателем и нажимным штифтом, укрепленными на подвижной и неподвижной частях сварочной машины.

Дозирование энергии по фиксированной осадке Δ сокращает разброс прочностных показателей сварного соединения до 5%. Зависимость прочности сварного соединения от фиксированной заданной осадки Δ представлена на рис. 2. На участке АБ прочность возрастает по мере увеличения осадки до 0,6 мм, но разброс еще значительный. Нестабильность прочности объясняется тем, что на этом участке происходит частичная ультразвуковая сварка, исследование зоны ультразвуковой сварки после разрушения швов показало, что площадь схватывания при осадке $\Delta = 0,3$ –0,5 мм составляет от 20 до 80% площади рабочего сечения волновода. Увеличение осадки Δ до 0,6 мм ведет к общему повышению прочности и уменьшению разброса. На участке БВ прочность шва максимальна. Разрушение сварного соединения происходит в околошовной зоне. При $\Delta > 0,9$ мм прочность соединения уменьшается (участок ВГ).

Рис. 2. Зависимость прочности σ сварного соединения от фиксированной заданной осадки Δ . Режим сварки: $A = 30$ мкм, $P_{ст} = 2$ МПа.

В этом случае для предотвращения полного продавливания свариваемых образцов использовали ограничитель перемещения сварочного узла. При ультразвуковой сварке ИК не происходит полного продавливания зоны шва. При длительном воздействии ультразвука шов утончается до определенного конечного значения $h_{ост} = 0,24$ мм.

При приложении статического сварочного давления до включения ультразвуковых колебаний происходит преимущественное утончение нетканой основы за счет уплотнения. Включение ультразвука ведет к утончению свариваемого материала под волноводом вследствие расплавления, выдавливания и частичного перемешивания ПВХ-покрытия с нетканой основой. Прочность сварного соединения существенным образом зависит от остаточной толщины сварного соединения $h_{ост}$ (рис. 3). Максимальная прочность сварного шва из искусственной кожи наблюдается при $h_{ост} = 0,7-0,9$ мм.

Рис. 3. Зависимость прочности σ сварного соединения от остаточной толщины сварного соединения $h_{ост}$. Режим сварки: $A = 25$ мкм, $P_{ст} = 2,5$ МПа.

Для определения степени участия ПВХ-покрытия в процессе образования сварного шва измеряли толщину покрытия после сварки с помощью микроскопа с 15-кратным увеличением. Для этого предварительно подготавливали срезы швов. Результаты исследований показали, что толщина покрытия h_n линейно уменьшается с увеличением осадки Δ . Прочность шва увеличивается при уменьшении h_n до 0,35 мм. При дальнейшем уменьшении толщины покрытия прочность сварного соединения снижается, что связано с общим утончением шва.

В работе также исследовали влияние технологических параметров УЗС с одновременным тиснением поверхности (времени, площади и глубины тиснения) на прочность и качество получаемых сварных соединений с тисненной поверхностью искусственной кожи.

Рис. 4. Технологические схемы для одновременной УЗС и тиснения деталей из искусственной кожи: 1, 5 – акустический узел для сварки и тиснения, соответственно; 2, 4 – волновод для сварки и тиснения, соответственно; 3 – соединяемый материал; 6 – акустический узел; 7 – волновод; 8 – опора.

Для одновременного выполнения сварного шва и тиснения можно применять несколько технологических схем, которые разобьем на две схемы (рис. 4). Первая схема (см. рис. 4, а) состоит из двух магнитоэлектрических преобразователей 1 и 5. Преобразователь 1 установлен подвижно в вертикальной плоскости и предназначен для УЗС. Преобразователь 5 осуществляет тиснение лицевой поверхности детали. Во второй схеме (см. рис. 4, б) используют один преобразователь 6 и волновод 7 для УЗС и тиснения. Это достигается конструкцией волновода, основанной на разнице остаточной толщины шва и тисненной детали (остаточная толщина шва на 0,6–0,9 мм меньше) (рис. 5).

Рис. 5. Волновод для одновременной УЗС и тиснения (z – остаточная толщина сварного шва): 1 – волновод; 2, 3 – рабочая поверхность для УЗС и тиснения, соответственно; $P_{ст}$ – статическое сварочное давление.

Наибольшую трудность представляет получение качественного рисунка при тиснении по поверхности деталей. Для этого применяли два способа. При первом способе рисунок (гравюру) наносили непосредственно на рабочую поверхность для ультразвукового тиснения, при втором – использовали клише с гравюрой, рисунок переносили с клише на материал после достижения вязкотекучего состояния ПВХ-покрытия. Качество полученных сварных швов и рисунков было одинаковым в обоих случаях.

Основные определяющие параметры качества получаемых сварных швов и рисунков – их термопластичность и коэффициент диэлектрических потерь материала. В качестве испытываемого материала выбрали искусственную кожу с монолитным ПВХ-покрытием. Толщина основы испытываемой искусственной кожи составляла 0,6 мм, а ПВХ-покрытия – 0,7 мм.

Получение сварных швов с помощью УЗС и рисунков на искусственной коже обусловлено объемными взаимодействиями в покрытии. Обычно покрытие искусственной кожи состоит из трех слоев: основного, среднего и отделочного. Основной слой, наносимый на основу, обеспечивает прочную связь между покрытием и основой, что достигается применением пластификаторов и уменьшением вязкости расплава для облегчения проникновения его в основу. Затем наносят средний слой, составляющий по массе 40–50% всего покрытия. Смесь для нанесения этого слоя имеет большую вязкость, чем у основного слоя, и содержит дешевые наполнители. Отделочный слой, подвергающийся наибольшим нагрузкам, состоит из высококачественных смесей, обуславливающих получение сухой, нелипкой поверхности искусственной кожи.

Протекание объемных взаимодействий приводит к образованию связей между макромолекулами отделочного и среднего слоев. Наиболее интенсивно эти процессы происходят при температуре текучести. В реальных условиях при тиснении и сварке невозможно выдержать данную температуру в течение необходимого времени. Реальная температура на 50–100 К выше, чем температура текучести. Это приводит к тому, что одновременно с процессами объемного взаимодействия протекают процессы деструкции, приводящие к изменению структуры макромолекул и, как следствие, изменению свойств сварных деталей с тисненной поверхностью по сравнению с исходными [1, 8].

ПВХ-покрытие состоит из множества компонентов, введение которых позволяет изменить свойства искусственной кожи. Температура текучести ПВХ-покрытия находится в интервале 373–443 К. Здесь же начинается и низкотемпературное разложение ПВХ-покрытия, т.е. интервал температур, в котором протекают сварочные

процессы и процессы тиснения, лежит внутри интервала процессов деструкции [1]. Однако разложение полимера зависит не только от температуры, но и от длительности ее воздействия. Поэтому, применяя высокоинтенсивные источники энергии, можно сдвигать процессы деструкции в высокотемпературную область [3, 5].

С этой точки зрения наиболее приемлем метод УЗС и тиснения, обеспечивающий скорости нагрева, на 2–3 порядка превышающие скорости нагрева, при которых обычно наблюдаются процессы деструкции в физико-химических исследованиях ПВХ-покрытия.

Установили изменение прочности деталей из искусственной кожи при наличии тисненной поверхности. Образцы из искусственных кож размером 100×200 мм испытывали на сдвиг на разрывной машине с климатической камерой. При тиснении искусственных кож с дозированием энергии по фиксированному времени так же, как и при УЗС, зафиксировали большой разброс прочностных показателей при непродолжительном воздействии на материал. При увеличении времени воздействия рисунок получается некачественным, а прочность значительно ниже прочности основных образцов. За основной образец принимали образцы со сварным швом шириной 6 мм, полученным ультразвуковой сваркой. Параметры сварки: $A = 30$ мм; $P_{\text{св}} = 3$ МПа; $t_{\text{св}} = 0,9$ с.

В дальнейших экспериментах исследовали влияние дозирования энергии ультразвука по фиксированной глубине тиснения на прочность деталей из искусственной кожи. Для этого в схему установки внесли изменения, аналогичные описанным в экспериментах по УЗС искусственной кожи. Образцы подвергали тиснению одним и тем же волноводом (его площадь составляла 25% от площади образца). Установили, что при глубине тиснения до 0,6 мм прочность снижается до 10%. При дальнейшем увеличении глубины тиснения снижение прочности составляет 25–30%.

Исследовали также ослабление деталей из указанного материала в зависимости от площади тиснения. Эксперимент проводили при глубине тиснения, равной половине толщины материала, т.е. 0,6 мм. В этом случае увеличение площади тиснения ведет к снижению прочности. При площади тиснения, составляющей 30% от площади образца, прочность снижается на 5–6%, а при тиснении по всей площади образца – на 30%.

Выводы

Разработана технология ультразвуковой сварки с одновременным тиснением поверхности изделий из искусственных кож, позволяющая получать сварные соединения с высокими прочностными показателями и эстетичным внешним видом с ограничением толщины шва в пределах 0,7–0,9 от суммарной толщины покрытий или покрытия и ПВХ-подложки.

При ультразвуковой сварке искусственных кож с одновременным тиснением поверхности рекомендуется выбирать технологическую схему с двумя преобразователями. В этом случае время тиснения равно 0,6–0,9 с, глубина тиснения должна быть не больше половины толщины детали.

Литература

1. Минскер К.С., Федосеева Г.Т. Деструкция и стабилизация поливинилхлорида. М.: Химия, 2002. 288 с.
2. Гольдберг М.М., Корюхин А.В., Кондратьев Э.К. Покрытия для полимерных материалов. М.: Химия, 2003. 210 с.
3. Справочник-словарь по сварке и склеиванию пластмасс / Г.Н. Кораб, А.Н. Шестопал, В.Г. Комаров и др. / Под ред. Б.Е. Патона. Киев: Наукова думка, 1988. 160 с.
4. Кархин В.А. Тепловые процессы при сварке. Санкт-Петербург, Изд-во Политехнического университета, 2013. 646 с.
5. Волков С.С., Шестель Л.А., Соколов В.А. Технология и оборудование для ультразвуковой сварки изделий из полиэтиленрефталатной пленки. // Сварочное производство. 2014. №3. с. 45–50.
6. Зеер Г.М., Зеленкова Е.Г., Королева Ю.П., Михеев А.А. Диффузионная сварка через промежуточные прослойки. // Сварочное производство. 2012. №7. с. 17–22.
7. Безменов Ф.В., Федотова И.Г. Высокочастотная сварка пластмасс. Л.: Машиностроение, 1980. 89 с.
8. Волков С.С. Сварка и склеивание полимерных материалов. М.: Химия, 2001. 376 с.