

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ НЕРАЗЪЁМНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ В РОБОТОТЕХНИКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ**

Г.Н. Юханаев, О.С. Чибухчян

Национальный политехнический университет Армении

В современной робототехнике особое внимание уделяется надежности и долговечности неразъёмных соединений, так как именно они определяют эксплуатационные характеристики и ресурс роботизированных систем. Среди различных технологий соединений всё большую популярность получает ультразвуковая сварка, обеспечивающая высокую прочность, герметичность и минимальное тепловое воздействие на материал. Целью данного исследования является сравнительный анализ методов неразъёмных соединений робота-манипулятора с акцентом на применение ультразвуковой сварки. В работе рассматриваются традиционные методы соединений — заклёпочные, резьбовые и пайка, а также их ограничения при эксплуатации в условиях высоких нагрузок и динамических воздействий. Проведённый анализ показал, что ультразвуковая сварка обладает рядом существенных преимуществ: высокой скоростью процесса, возможностью соединения разнородных материалов, экологичностью и экономичностью, по сравнению с другими методами. Кроме того, она позволяет интегрировать технологию в автоматизированные линии сборки, что особенно актуально для робототехнических комплексов. Однако применение ультразвуковой сварки также сопряжено с рядом технических сложностей, в нашем случае это ограничение по толщине свариваемых элементов.

Таким образом, сравнительный анализ подтверждает перспективность внедрения ультразвуковой сварки в процессы создания неразъёмных соединений роботов-манипуляторов при условии оптимизации технологических режимов и выбора подходящих материалов.

На основе проведённого анализа предлагается рассмотреть ультразвуковую сварку как наиболее перспективный метод формирования неразъёмных соединений в роботах-манипуляторах, особенно в условиях высоких нагрузок и динамических воздействий. В работе предлагается методическая основа для выбора оптимального способа соединения в зависимости от конструктивных особенностей и функциональных требований к роботу.

Ключевые слова: робот-манипулятор, неразъёмные соединения, ультразвуковая сварка, автоматизация, надёжность.

Введение. В последние годы ультразвуковая сварка (УЗС) становится всё более популярной в области робототехники благодаря своим преимуществам, таким как высокая скорость соединения, минимальное тепловое воздействие и возможность автоматизации процесса. Особенно актуально её применение в производстве роботов-манипуляторов, где требуются высокая точность и надёжность соединений. Однако, несмотря на очевидные преимущества, существуют и определённые ограничения, такие как ограничения по толщине соединяемых материалов и необходимость точной настройки параметров процесса.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа методов неразъёмных соединений, применяемых в робототехнике, с акцентом на ультразвуковую сварку. В свою очередь, неразъёмные соединения занимают важное место в машиностроении и особенно в робототехнике, где от надёжности конструкции зависят точность и долговечность работы механических систем. Эти соединения обеспечивают прочную фиксацию деталей без возможности их разборки без разрушения элементов.

Методы исследования. К неразъёмным соединениям относят сварные, заклёпочные, клеевые, паяные и прессовые типы, каждый из которых имеет свои особенности применения и технологические преимущества [1].

Таким образом, применение неразъёмных соединений в робототехнике требует комплексного подхода к выбору технологии, учитывая не только прочностные характеристики, но и особенности материалов, условия эксплуатации и требования к точности. В табл. 1 приведён подробный анализ неразъёмных соединений.

Таблица 1

Сравнительный анализ неразъёмных соединений

Вид соединения	Краткое описание	Преимущества	Недостатки	Области применения	Особенности / на что обращать внимание
1	2	3	4	5	6
Сварные соединения (стыковые, фасонные, тавровые, угловые и т.д.)	Соединение деталей путём местного плавления материала или присадки (электродуга/плазмы/лазера/газовой горелки); образуются межатомные связи в шве [5]	Высокая прочность и жёсткость; герметичность; возможность автоматизации; отсутствие дополнительных крепежных деталей; экономичны для массового производства длинных швов [5]	Неразъёмные; термическое деформирование/напряжения, зона термического влияния (ЗТВ) — ухудшение свойств; необходимость подготовки кромок; контроль качества (дефекты) критичен; трудоёмкость при тонких материалах [5]	Каркасы, рамы, мосты, корпуса машин, трубопроводы, крупные конструкции, участки, требующие герметичности [5]	Требуется правильный выбор сварного шва и режима; контроль приваров, дефектоскопия; термообработка после сварки при ответственных узлах; обозначения швов в чертежах по стандартам [2,5]
Заклёпочные (клёпка, вальцовка, расклёпывание)	Соединение металлических листов/профилей установкой заклёпок или деформированием заготовки (клёпка, развальцовка, вальцовка) [5]	Простота и надёжность; хорошо для тонколистовых конструкций и разнородных материалов; устойчива к вибрациям; не требуется нагрева [2]	Шумная/ручная операция в ряде случаев; отверстия ослабляют конструкцию; не герметичны без дополнительных прокладок; не всегда подходят для высокопрочных соединений [5]	Авиа- и судостроение (исторически), тонколистовые корпуса, лестницы, конструкции, где сварка невозможна (алюминиевые и композитные сочетания) [2]	Правильный подбор типа заклёпки и шага; расчёт прочности пары заклёпка/лист; стандарты ГОСТ на типы заклёпок [5]
Пайка / Бразировка	Соединение при помощи припоя с температурой плавления ниже основных металлов (мягкая пайка — низкотемпературная; твёрдая/бразировка — выше). Припой заполняет зазор и обеспечивает связь [2,5]	Позволяет соединять тонкие или мелкие детали; может соединять разнородные материалы; меньшая термическая деформация, чем при сварке; хорошие герметичные швы (особенно бразировка) [2,5]	Механическая прочность обычно ниже, чем у сварки; чувствительность к подготовке поверхностей; ограничения по рабочим температурам и нагрузке; необходимость флюсов/очистки [2,5]	Электроника, тонкие трубки, сантехника, теплообменники, медные и латунные соединения, инструменты с тонкими стенками [2,5]	Важно правильно выбирать припой и флюс; контролировать нагрев и капиллярность; проверять на герметичность [2,5]

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
Клеевые (адгезионные) соединения	Передача усилий по всей поверхности контакта при помощи полимерных/органических клеев; адгезия + когезия материалов [8]	Равномерное распределение нагрузок; возможность склеивать разные материалы (металл-композит, металл-стекло и т.д.); отсутствие концентраторов напряжений; хорошая герметичность; лёгкий вес конструкции [8]	Чувствительны к подготовке поверхности; деградация при высокой температуре/химии/влаге; длительная выдержка на отверждение; сложность контроля состояния шва; труднее производить ремонт [8]	Авиа- и автопром (композиты), электроника, корпусная техника, соединения, где важен внешний вид и герметичность, сэндвич-панели [8]	Выбор клея под нагрузку и температуру; очистка/обезжиривание поверхности; контроль толщины клеевого слоя; рекомендации стандартов и руководств (ЕССС, пром. ГОСТы) [8]
Прессовые (посадка с натягом, холодная развальцовка, заформовка)	Создание неразъёмного соединения за счёт натяга (разница диаметров) или пластической деформации (вальцовка, заформовка полиамида и т.п.) [2]	Очень высокая точность позиционирования; высокая усталостная прочность при правильном натяге; отсутствие дополнительных элементов; компактность [2]	Требует высокой точности изготовления; при ошибке — нельзя разобрать без повреждений; трудоёмкость при монтаже; необходимость термообработки/нагрева при некоторых посадках [2]	Насаживание втулок, шестерен, подшипников на валы; монтаж пресс-втулок, втулок в пластмассу (заформовка) [2]	Контроль допусков и шероховатости; расчет по натягу, проверка распределения напряжений; возможна коррозия при зазорах [2]
Клёпка холодной пластической деформации / вальцевание / чеканка	Механическая пластическая обработка краёв/поверхностей для получения прочного неразъёмного шва (часто в тонких листах) [2]	Не требует нагрева; подходит для тонких листов и тонколистовых конструкций; простота средств [2]	Меньшая прочность, чем сварка; требует специального оборудования для больших серий; чувствительно к пластичности материала [2]	Электроаппаратура, корпуса, тонкие кожухи, радиотехника [2]	Важно ограничить пластическую деформацию, чтобы не вызвать трещины; выбор методов по материалу [2]
Комбинированные (например, клеесварные, клёпка + сварка и т.д.)	Сочетание методов (склейка + точечная сварка, клёпка + нитрирование и т.д.) для получения лучших свойств. [1,5,8]	Компенсируют слабые стороны одного метода другим; повышают общую надёжность и герметичность; гибкость проектирования. [1,5,8]	Усложнение технологии; рост стоимости; требовательность к контролю качества и последовательности операций.	Сложные конструкции, транспорт, авиа- и кораблестроение, где нужно сочетать лёгкость, прочность и герметичность [1,5,8]	Необходим тщательный технологический регламент; внимание к совместимости материалов и термообработкам [1,8]

В современных промышленных роботах-манипуляторах особое внимание уделяется неразъёмным соединениям, обеспечивающим высокую точность, жёсткость и надёжность при динамических нагрузках (рис.1). При

проектировании таких роботов важно выбирать соединения, которые позволяют минимизировать люфты и распределять нагрузки равномерно, сохраняя стабильность конструкции в течение длительного времени [2].



Рис.1. Линейка промышленных роботов KUKA: от самых малогабаритных до гигантов отрасли

Традиционно для несущих рам и звеньев манипуляторов применяются сварные соединения, обеспечивающие монолитность конструкции и высокую прочность. Однако в последних моделях роботов особый интерес представляет ультразвуковая сварка, особенно при соединении тонких металлических и пластиковых элементов. Этот метод позволяет создавать соединения без дополнительного нагрева всей детали, что предотвращает деформации и сохраняет точные геометрические размеры узлов. УЗС обеспечивает равномерное распределение напряжений и высокую повторяемость соединений, что критично для модулей с высокими требованиями к точности [5].

Заклёпочные и прессовые соединения остаются востребованными в роботах-манипуляторах для крепления корпусов редукторов, кожухов и легких элементов, где важно сохранить стабильность размеров и устойчивость к вибрациям. Однако в сравнении с УЗС они менее гибки и требуют больше времени на сборку [2].

Клеевые соединения находят применение при объединении разнородных материалов, например пластика и металла, а также в местах, где нужно снизить вибрации или защитить чувствительные датчики. При этом УЗС может выступать более предпочтительным вариантом, когда важны высокая точность и повторяемость соединений, а подготовка поверхности и контроль клея усложняют технологический процесс [8].

Рассмотрение манипуляторов показывает, что ультразвуковая сварка становится ключевой технологией для неразъёмных соединений, сочетая прочность, точность и возможность работы с разнородными материалами, что делает её особенно привлекательной для современных робототехнических систем (рис.1).

Роботизированная сварка, в свою очередь, как элемент сборки корпусов роботов-манипуляторов применяется там, где важны высокая точность, повторяемость и минимизация деформаций. Исследование,

сравнивающее роботизированную сварку и ручную сварку для стали SM50A, показало, что при большом числе циклов роботизированная сварка обеспечивает более длительный срок службы соединений благодаря более равномерным швам и меньшему размеру зерен [3].

Рассмотрим простую схему принципа работы УЗС, которое отображено на рис.2. Механизм УЗС очень прост. Рог передает внутренние ультразвуковые колебания в пластик. Эти колебания создают сварочное тепло.

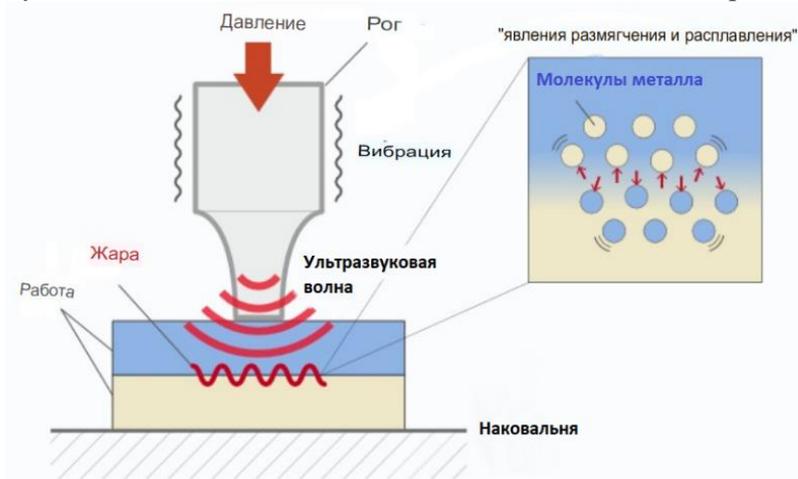


Рис.2. Принцип работы ультразвуковой сварки

Ультразвуковая сварка основана на использовании энергии высокочастотных механических колебаний, которые передаются в область контакта соединяемых заготовок. В процессе воздействия происходит локальное выделение тепла, вызывающее частичное размягчение и текучесть материала. Это обеспечивает взаимное проникновение структурных слоёв и формирование прочного межмолекулярного сцепления. Процесс одинаково эффективен при работе с металлическими, пластмассовыми и композитными заготовками.

Иными словами, ультразвуковая энергия концентрируется в месте соединения, где возникает эффект местного нагрева и плавления, что способствует образованию монолитного соединения без внешнего нагрева всей детали. После затвердевания материала формируется надёжный шов, обладающий высокой механической прочностью и стабильностью формы.

При сварке металлических заготовок процесс имеет свои особенности. Ультразвуковые колебания передаются через соноотрод на металл, создавая интенсивное микроскопическое трение в зоне контакта. Это трение не только способствует нагреву, но и разрушает поверхностные оксидные плёнки, препятствующие прямому контакту чистых металлических слоёв. После разрушения этих плёнок происходит диффузионное соединение на атомном уровне, что обеспечивает прочность и герметичность сварного шва.

Существуют различные типы преобразователей, которые превращают

энергию в колебания (механические, акустические или электромеханические). В инженерной практике важными среди них являются: **пьезоэлектрические, электромагнитно-акустические, электродинамические и магнитострикционные преобразователи**. Каждый тип опирается на свой физический механизм (пьезоэффект, взаимодействие ток–магнитное поле, индукция/движущая сила в магнитном поле, магнитострикция) и имеет свои сильные и слабые стороны — для наших исследований будет использован пьезоэлектрический преобразователь.

В табл. 2 сравнительные данные основных типов ультразвуковых преобразователей.

Таблица 2

Сравнительные данные основных типов ультразвуковых преобразователей

Параметр / Тип	Пьезоэлектрический	Электромагнитно-акустический (EMAT)	Электродинамический	Магнитострикционный
1	2	3	4	5
Принцип работы → механические колебания.	Пьезоэффект: керамика/кристалл деформируется при переменном напряжении [6]	Индукция, магнитострикция: переменное магнитное поле + вихревые токи /магнитострикция в материале генерируют акустику прямо в образце [6,7]	Ток в катушке в магнитном поле создаёт силу (движение диафрагмы/якоря), акустические/механические колебания [4]	Магнитострикция: изменение размеров ферромагнитного материала при приложенном магнитном поле механические колебания [7]
Среда передачи колебаний	Обычно требует контакта и гель/вода для эффективной передачи в металл/жидкость [6]	Бесконтактный: передача через воздушный зазор (для проводящих/ферромагнитных материалов) [6]	Обычно через воздух (акустика), может работать через жидкости при конструктивной адаптации [4]	Часто требуется контакт/жидкость/крепление (патч на поверхности, связующий слой) [7]
Эффективность (энергопереход)	Высокая электр→мех-эффективность на соответствующих режимах; хорошая чувствительность (особенно в медицинских/датчиковых приложениях) [6]	Низкая энергетическая эффективность по сравнению с контактными пьезо — низкий SNR; однако улучшения магнитных схем повышают SNR [6]	Высокая эффективность в звуковом низкочастотном диапазоне; простая конструкция, хорошие рабочие характеристики для аудио/вибрации [4]	Высокая мощность излучения на нужных режимах; хороша для мощных промышленных приложений [7]
Область применения (типичные)	Медицина (УЗИ), НДТ с контактными зондами, датчики, приводы, УЗ-очистка (в компактных установках) [6]	НДТ без контакта (горячие/грязные поверхности), толстомеры, генерация SH (сдвиговая горизонтальная волна) и Lamb(волны Лэмба) волн, инспекция труб/плит [6]	Динамики, шейкеры, акустические приводы, низкочастотные вибрационные тесты/измельчение [4]	Ультразвуковая сварка, очистка, гидролокация, высокоомощные промышленные УЗ-приложения [7]
Преимущества	Высокая чувствительность и эффективность; компактность, широкий диапазон частот; отработанная промышленная технология [6]	Бесконтактность (нет couplant), пригодность для экстремальных температур/поверхностей; удобство развёртывания [6]	Широкая полоса пропускания в звуковой области; устойчивая простая конструкция; хорошая воспроизводимость амплитуды [4]	Высокая мощность излучения, прочность и надёжность в тяжёлых условиях [7]

Продолжение табл.2

1	2	3	4	5
Недостатки / ограничения	Требует качественного акустического контакта (couplant); чувствителен к температуре (ограничения по Tmax); хрупкость некоторых керамик [6]	Низкая энергоэффективность низкий SNR - Signal-to-Noise Ratio (отношение сигнал/шум); ограничение на неметаллические непроводящие материалы; размер/вес магнитной части [6]	Ограничения при ультравысоких частотах; при больших мощностях — нагрев, потери. Для передачи в твёрдые тела требуется механическая адаптация [4]	Меньшая эффективность на высоких частотах, возможный нагрев/потери; требует сильного магнитного поля/магнитной схемы [7]
Качество сигнала (SNR, селективность, режимы)	Высокое SNR в контактных условиях; хорошая частотная селективность при правильной реализации [6]	Часто низкий SNR по сравнению с пьезо, но современные конструкции (оптимизация магнитного поля, фазированные массивы, DSP) улучшают режимы и селективность [6]	Хорошая стабильность в аудио/вибродиапазоне; селективность зависит от механики (корпус, мембрана) [4]	Качество зависит от материала и схемы магнитной намагничивающей цепи; может давать мощный, но менее «тонкий» спектр [7]
Цена / сложность изготовления	Материал PZT (титанат цирконата свинца) относительно доступен; сборка и отладка средние по стоимости. Ультратонкие датчики — дешёвые, специализированные мед. зонды дороже [6]	В среднем выше за счёт магнитов/конструкций; дорогостоящие магниты/экранирование + сложность изготовления. Улучшают стоимость при массовом производстве некоторых типов [6]	Зависит от размеров и материалов: простые динамики — дешёвые; высококачественные/мощные шейкеры — дороже [4]	Часто дороже из-за специализированных материалов (Terfenol-D, Galfenol) и магнитных систем; сложность при высоких мощностях [7]

Также отметим, что в базовой научно-исследовательской лаборатории машиностроительных технологий НПУА было создано изобретение № 3265 А, предназначенное для использования в исследовательских работах [1].

По технической сути, оно близко к способу изготовления ультразвукового преобразователя (патент РА № 2443 А12, 2010 г.), где из магнитострикционной ленты штампуются прямоугольные пластины, из которых собирается магнитопровод, соединяемый с волноводом и разделяемый на стержни [1].

Новое решение упрощает технологию изготовления трёхстержневых магнитострикционных преобразователей и повышает их удельную мощность. Суть изобретения в том, что магнитопровод разделяют на три стержня: два боковых одинаковой толщины и центральный — в два раза толще; обмотку размещают на среднем стержне, после чего все три стержня жёстко соединяют между собой [1]. Такой подход снижает расход дорогих материалов (до 1,68 раз) и уменьшает себестоимость преобразователя. На рис. 3 представлены схема и общий вид данного изобретения [1].

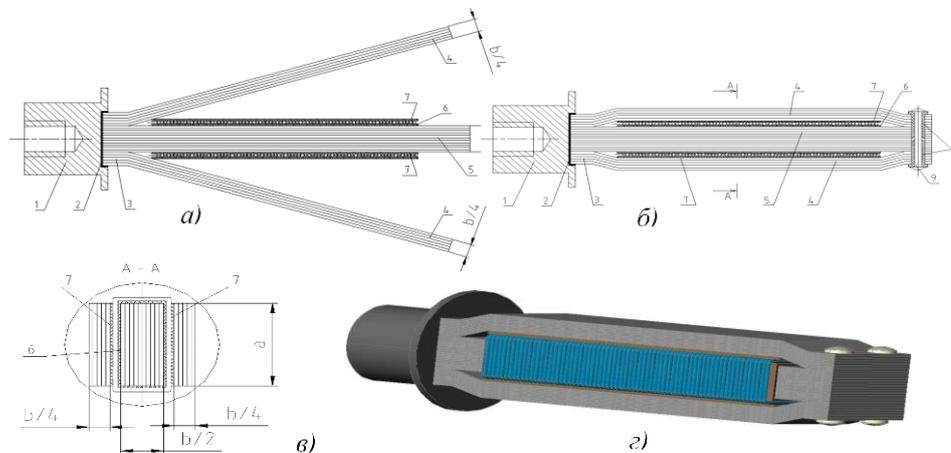


Рис.3. а- волновод 1 ультразвукового преобразователя, к лицевой части 2 которого с помощью припоя прикреплён магнитопровод 3 толщиной b . Он разделён на два крайних 4 и один средний 5 стержни: толщина среднего стержня равна $b/2$, а каждого из крайних — $b/4$. На среднем стержне 5 установлены изолирующие кольца 6 из электроизоляционного материала, на которых размещена возбуждающая обмотка 7 преобразователя; б- собранный трёхстержневой ультразвуковой преобразователь, где свободные концы стержней жёстко соединены между собой при помощи втулок 8 и штилек 9, выполненных из электроизоляционного материала; в- поперечное сечение А–А собранного преобразователя, где a обозначает ширину стержней. г- трёхмерный (3D) вид собранного трёхстержневого ультразвукового преобразователя [1]

Исследования, проведённые на кафедре Машиностроения и машиноведения, привели к созданию нового типа магнитострикционного преобразователя, на основе которого разрабатывается инновационная технология ультразвуковой сварки, предназначенная для дальнейшего практического применения.

Заключение. Ультразвуковая сварка представляет собой эффективный метод создания неразъёмных соединений в производстве роботов-манипуляторов. Её преимущества, такие как высокая скорость соединения, минимальное тепловое воздействие и возможность автоматизации процесса, делают её привлекательным выбором для многих приложений. Однако для достижения оптимальных результатов необходимо учитывать ограничения метода, а именно - ограничения по толщине материалов и необходимость точной настройки параметров процесса. В дальнейшем следует проводить исследования, направленные на расширение области применения УЗС, включая разработку новых технологий и методов, которые позволят преодолеть существующие ограничения.

Литература

1. Արտոնագիր 3265 А, Անդրաձայնային կերպափոխիչի պատրաստման եղանակ / **Բ. Ս. Բալասանյան, Ա. Լ. Արշակյան, Ա. Բ. Բալասանյան, Հ. Ս. Չիբուխյան, Բ. Ա. Բալասանյան, Վ. Գրիգորյան, Հ.Ա. Հովհաննիսյան** .-2018թ.
2. **Лубчёнок В.А., Селицкий А.Н.** Неразъёмные соединения: Методические указания.- Полоцк: ПГУ, 2012. – 36 с.
3. **Abdel Wahab M.M.** Fatigue in Adhesively Bonded Joints: A Review// International Scholarly Research Notices.- 2012.- P.26.
4. **Серник С., Lausecker R., & Wallrabe U.** Review on Electrodynamic Energy Harvesters //A Classification Approach. Micromachines.- 2013.- 4(2).- P.29.
5. **Design of Welded Joints** (технический обзор / учебный материал, PDF).-19.p. <https://lunyx.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/01/welded-joints.pdf>
6. **Jia X., Ouyang Q., & Zhang X.** An Improved Design of the Spiral-Coil EMAT for Enhancing the Signal Amplitude // Sensors.- 2017.- 17, article 1106. - P.12.
7. **Kim Y.Y., & Kwon Y.E.** Review of magnetostrictive patch transducers and applications in ultrasonic nondestructive testing of waveguides//Ultrasonics .- 2015.- 62.-P.17.
8. **Raul D.S., Campilho G** Design of Adhesive Bonded Joints: Handbook on adhesive bonding (MDPI / ECSS; обзорные статьи и руководства), PDF/онлайн-руководства (2011–2017). - 240 p.

*Поступила в редакцию 18.09.2025.
Отправлена на рецензию 20.09.2025.
Принята к опубликованию 24.11.2025.*

ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ ՌՈՐՈՏԱՏԵԽՆԻԿԱՅՈՒՄ ՉԵՐԿԱՏՎՈՂ ՄԻԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ԱՆԴՐԱՁԱՅՆԱՅԻՆ ԵՌԱԿՑՄԱՆ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ

Գ.Ն. Յուխանյան, Հ.Ս. Չիբուխյան

Ժամանակակից ռոբոտատեխնիկայում անբաժանելի միացումների հուսալիությանն ու երկարակեցությանը տրվում են առանձնահատուկ նշանակություն, քանի որ հենց այդ միացումները են որոշում ռոբոտացված համակարգերի շահագործման բնութագրերը և ռեսուրսը: Միացման տարբեր տեխնոլոգիաներից առավել լայն կիրառություն է ստանում անդրաձայնային եռակցումը, որն ապահովում է բարձր ամրություն, հերմետիկություն և նյութի վրա նվազագույն ջերմային ազդեցություն: Սույն հետազոտության նպատակը ռոբոտ-մանիպուլյատորի չերկատվող միացումների մեթոդների համեմատական վերլուծությունն է՝ շեշտադրելով անդրաձայնային եռակցման կիրառումը: Աշխատանքում դիտարկվում են ավանդական միացման մեթոդներ՝ մանգաղային, պտուտակային և զոդում, ինչպես նաև դրանց սահմանափակումները բարձր բեռների և դինամիկ ազդեցությունների պայմաններում շահագործման ժամանակ: Վերլուծության արդյունքում պարզվել է, որ անդրաձայնային եռակցումն ունի մի շարք էական առավելություններ՝ գործընթացի բարձր արագություն, տարբեր նյութերի միացման հնարավորություն, էկոլոգիական և տնտեսական արդյունավետություն՝ համեմատած այլ մեթոդների հետ: Բացի այդ, այն թույլ է տալիս ինտեգրել տեխնոլոգիան

ավտոմատացված հավաքման գծերում, ինչը հատկապես արդիական է ռոբոտատեխնիկական համալիրների դեպքում: Սակայն անդրաձայնային եռակցման կիրառումն ունի նաև որոշ տեխնիկական դժվարություններ, մասնավորապես՝ եռակցվող տարրերի հաստության սահմանափակում:

Համեմատական վերլուծությունը հաստատում է անդրաձայնային եռակցման ներմուծման նպատակահարմարությունը ռոբոտ-մանիպուլյատորների անբաժանելի միացումների ձևավորման գործընթացներում՝ տեխնոլոգիական ռեժիմների օպտիմալացման և համապատասխան նյութերի ընտրության պայմանով:

Վերլուծության հիման վրա առաջարկվում է դիտարկել անդրաձայնային եռակցումը՝ որպես առավել հեռանկարային մեթոդ ռոբոտ-մանիպուլյատորների չերկատվող միացումների ձևավորման դեպքում, հատկապես բարձր բեռների և դինամիկ ազդեցությունների պայմաններում: Աշխատանքում ներկայացված է մեթոդական հիմք՝ միացման օպտիմալ տարբերակի ընտրության համար՝ ելնելով ռոբոտի կառուցվածքային առանձնահատկություններից և ֆունկցիոնալ պահանջներից:

Առանցքային բաներ. ռոբոտ-մանիպուլյատոր, չերկատվող միացումներ, անդրաձայնային եռակցում, ավտոմատացում, հուսալիություն:

A COMPARATIVE ANALYSIS OF PERMANENT JOINT METHODS IN ROBOTICS USING ULTRASONIC WELDING

G.N. Yukhanaev, H.S. Chibukhchyan

In modern robotics, special attention is paid to the reliability and durability of permanent joints, as they directly determine the performance and lifespan of robotic systems. Among various joining technologies, ultrasonic welding is gaining increasing popularity due to its high strength, hermetic sealing, and minimal thermal impact on materials. The purpose of this study is to conduct a comparative analysis of permanent joint methods used in robot manipulators, with a focus on the application of ultrasonic welding. The paper examines traditional joining methods — riveting, threaded fasteners, and soldering — as well as their limitations under conditions of high loads and dynamic impacts. The analysis has shown that ultrasonic welding offers several significant advantages: a high process speed, the ability to join dissimilar materials, environmental friendliness, and cost-effectiveness compared to other methods. Moreover, it enables integration into automated assembly lines, which is especially relevant for robotic systems. However, the use of ultrasonic welding also presents certain technical challenges — in our case, the limitation on the thickness of the welded elements. Thus, the comparative analysis confirms the potential of ultrasonic welding for use in the formation of permanent joints in robot manipulators, provided that technological parameters are optimized and suitable materials are selected.

Based on the analysis, ultrasonic welding is proposed as the most promising method for forming permanent joints in robot manipulators, particularly under high-load and dynamic operating conditions. The paper also presents a methodological framework for selecting the optimal joining method depending on the structural features and functional requirements of the robot.

Keywords: robot manipulator, permanent joints, ultrasonic welding, automation, reliability.