

В точку!

Аккуратная точечная сварка с программным уравниванием усилий
Леннарт Зундстедт, Кристиан Мюллер, Аке Улофсон

Когда клещи для точечной сварки охватывают свариваемые детали, крайне важно обеспечить точное регулирование положения и усилия. Система управления должна компенсировать отклонение манипулятора, связанное с прилагаемым усилием. Рабочие концы электродов (с каждой стороны листа) для предотвращения изгиба листа должны коснуться листа точно одновременно. После установки клещей в правильное положение необходимо точно дозировать прилагаемое усилие при сварке, опять же во избежание деформации листа. При этом, кроме всего прочего, требуется принимать во внимание износ электродов.

Ранее для решения этой задачи применялись механические уравнивающие системы, построенные на пневматической автоматике. Разработанное в АББ устройство программного уравнивания Software Equalizing с сервоуправлением открывает новые возможности за счет значительно возросшей точности и повышенной универсальности, что позволяет добиться более высокого качества сварного соединения при одновременном сокращении объемов техобслуживания.

Производство, регулируемое спросом

Подразделение ABB Robotics предлагает гибкие программные решения для различных сфер применения точечной сварки. Разработаны специализированные программы для сварочных систем с пневмо- и сервоприводом. Программный пакет RobotWare Spot Servo предназначен для использования со сварочными клещами с сервоприводом. В нем для управления серводвигателем сварочных клещей и перемещением манипулятора робота с шестью степенями свободы используются общие контроллер и внутренняя схема управления движением. Поэтому отпадает необходимость во внешней блоке управления приводом, а управление клещами полностью синхронизировано с перемещениями манипулятора.

Сейчас ABB Robotics представляет программный пакет управления движением Software Equalizing, который является дальнейшим развитием системы и заменяет собой традиционную механическую систему уравнивания усилий (с пневматическим или электрическим управлением), монтируемую на клещи для точечной сварки. Применение пакета Software Equalizing позволяет снизить стоимость оборудования и сократить объем техобслуживания и обеспечивает более высокое качество сварного соединения.

Немного истории

Промышленные роботы были внедрены в области точечной сварки более тридцати лет назад. В то время точность роботов, установочных приспособлений, зажимных устройств и сварочных клещей была очень низкой. Скомпенсировать недостаток точности удалось путем внедрения механических уравнивающих устройств (рис. 1) – клещи при смыкании сохраняли гибкость, а усилие на электродах увеличивалось только перед началом сварки.

За годы развития повысилась точность роботов, сократились допуски при работе зажимных устройств и раскросе листового металла. Пневматические клещи для точечной сварки вытесняются клещами с сервоприводом. В результате точность позиционирования металлического листа и воспроизводимость действий робота теперь столь велики, что их отклонения практически не оказывают влияния на результаты сварки.

Существуют, однако, и другие неточности и факторы, влияющие на качество сварного соединения. Среди них:

- отклонение фиксированной части клещей,
- неточность программирования,
- износ электродов.

Если их должным образом не компенсировать, возможно изгибание, коробление или повреждение листа во время сварки. Неточность приложения запрограммированного усилия может при-

вести к получению сварного соединения низкого качества и сохранению остаточных напряжений в металле. Таким образом, потребность в уравнивающей системе сохраняется.

ABB Robotics представляет программный пакет управления движением Software Equalizing, заменяющий собой традиционную механическую систему уравнивания усилий с пневматическим или электрическим управлением, монтируемую на клещи для точечной сварки.

Программное уравнивание

Типовой цикл точечной сварки показан на рис. 2. На рис. 2а показано, как робот IRB6600 подводит открытые клещи к месту сварки. Клещи смыкаются в месте сварки (2б, 2в). Далее наращивается усилие сжатия клещей, т.е. возникает изгиб (позиционное управление сменяется управлением по усилию). Когда необходимое усилие достигнуто, клещи фиксируются и начинается процесс точечной сварки. Затем усилие на рычаге ослабляется, клещи раскрываются, а робот перемещает клещи в новую позицию (2г), при этом управление по усилию опять сменяется на позиционное управление.

Система программного уравнивания разработки ABB Robotics заменяет собой традиционную механическую систему уравнивания. Система позволяет снизить затраты (благодаря

более простой конструкции клещей, меньшему объему обслуживания, отсутствию необходимости в подаче сжатого воздуха), а также сделать программирование более удобным и быстрым. Реализованы следующие функции:

- компенсация отклонения рычага клещей,
- поддержка обучения,
- контроль и компенсация износа электрода,
- автоматический отвод фиксированного рычага клещей.

Ниже приведено описание перечисленных функций.

Компенсация отклонения рычага клещей

При смыкании клещей перед началом сварки фиксированный рычаг клещей из-за приложенного усилия неизбежно изгибается. В результате положение сварного соединения оказывается неточным. Для компенсации такого изгиба и обеспечения запрограммированного усилия, приложенного к листу металла, необходимо скорректировать положение клещей. Ранее этого добивались посредством механического уравнивания.

Замена механического уравнивания программными функциями подразумевает ввод дополнительного перемещения фиксированного рычага клещей – посредством перемещения самих клещей (для чего потребуются ввести дополнительную степень свободы) или манипулятора робота. Специалисты АББ избрали подход, при котором такое перемещение обеспечивается с помощью имеющейся программы управления перемещением манипулятора. Встроенное программное обеспечение робота полностью координирует компенсационные перемещения с наращиванием усилия сжатия клещей. То же самое происходит и при ослаблении усилия после сварки.

■ Сварочные клещи с сервоприводом и механическим уравнивающим устройством. До появления системы Software Equalizing – самый распространенный вид оборудования



2 Этапы типового цикла точечной сварки, показанные с помощью программы RobotStudio фирмы АББ



3 Пульт FlexPendant в режиме Weld Position Touch Up



Результаты тщательных исследований и измерений показывают, что при использовании программного уравнивания, изгиба металлического листа перед сваркой или в процессе сварки не наблюдается. Кроме усилия сжатия, прилагаемого рабочими концами электродов, прочие усилия отсутствуют. Компенсирующие перемещения также могут быть четко синхронизированы с перемещением клещей на стадии управления по усилию. Процесс сварки осуществляется при практически полном отсутствии в листах металла механических напряжений, благодаря чему повышается качество соединения.

Поскольку в системе, разработанной АББ, для корректировки положения фиксированного рычага применяются внутренняя логика и программы управления перемещением, параметры системы сохраняются неизменными вне зависимости от ориентации клещей. В то же время механическое уравнивающее устройство в разной мере компенсирует отклонение рычага в разных положениях. Клещи, дающие хороший результат при смыкании в горизонтальном положении, могут не обеспечить достаточной компенсации в вертикальном положении. Настройка и подгонка клещей для обеспечения надежной компенсации при любой ориентации – задача сложная и трудоемкая.

За счет использования внутренней логики и программы управления роботом для корректировки положения фиксированного рычага становится возможной идеальная синхронизация с неизменными показателями вне зависимости от ориентации клещей.

Функции компенсации изгиба рычага могут применяться для клещей с сервоприводом обоих типов: X-тире и C-тире¹⁾, а также как для клещей, установленных на роботах, так и стационарных. Единственная характеристика конкретных клещей, которую необходимо ввести в систему – это

Сноска

¹⁾ Обозначение X-тире относится к сварочным клещам, выполненным по схеме ножниц (электроды расположены перпендикулярно рычагу, как показано на рис. 2), а обозначение C-тире – к конфигурации прямого действия (электроды располагаются вдоль оси рычага, при этом один является непосредственным продолжением рычага, а другой закреплен с помощью C-образного кронштейна).

характеристика отклонения (величина отклонения рычага как функция усилия и времени). Такая информация обычно приводится среди технических характеристик клещей.

Поддержка обучения

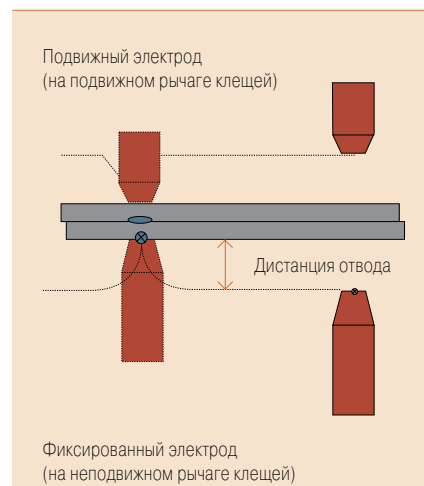
Точное программирование позиций точечной сварки – обязательное условие обеспечения высокого качества сварки. При использовании системы программного уравнивания необходимость соблюдения этого условия возрастает. В программном обеспечении ABB Robotics теперь предусмотрена удобная функция под названием Weld Position Touch Up («корректировка позиции сварки») для точной настройки запрограммированных позиций.

Функция Weld Position Touch Up работает в ручном режиме (т.е. во время программирования или обновления программы). В режиме корректировки (рис. 3) все запрограммированные инструкции (кроме сварки) исполняются нормальным образом. Когда робот подходит к заданной в программе позиции сварки, его манипулятор останавливается в этой позиции, а на пульте FlexPendant появляется окно корректировки.

FlexPendant

FlexPendant (рис. 3) представляет собой компактное устройство для реализации пользовательского интерфейса робота. Эргономичный пульт, разработанный для контроллера IRC5 фирмы АББ, весит всего 1,3 кг, снабжен цветным сенсорным экраном и обладает удобным интерфейсом.

4 Электроды отводятся на заданное расстояние во избежание контакта с листом во время перемещения



Производство, регулируемое спросом

С помощью одной программной кнопки на пульте FlexPendant выполняется пошаговая корректировка положений фиксированного и подвижного рычагов клещей. Положение фиксированного электрода смещается ближе к листу металла или дальше от него с предварительно заданным приращением.

Контроль и компенсация износа электрода

Электроды для точечной сварки в процессе работы постоянно изнашиваются. Следовательно, фактическое положение клещей необходимо корректировать с учетом износа. В состав пакета Software Equalizing входит удобная функция измерения и компенсации износа электродов.

Суммарный износ электродов определяется путем смыкания клещей «в воздухе» (без листа) с известным усилием. Измеряется отличие позиции рычагов клещей в сомкнутом положении, и эта величина затем используется для корректировки хода электродов. Благодаря этому гарантируется постоянство времени смыкания клещей (а следовательно, постоянство продолжительности циклов) и усилия сжатия при сварке.

Чтобы максимально упростить процедуру программирования точек сварки для пользователя, робот при размыкании клещей автоматически перемещает фиксированный рычаг на заданное расстояние в направлении, перпендикулярном плоскости листа.

Износ электродов на фиксированном рычаге может быть определен как исходя из ожидаемого соотношения между износом этого электрода и общим износом электродов, так и путем измерения с использованием фиксированной базовой пластины и специальной инструкции перемещения. Для клещей, смонтированных на манипуляторе робота, такая пластина закрепляется в рабочей зоне робота. Фактическое положение фиксированного рычага определяется с помощью функции поиска – перемещения электрода в направлении базовой пластины до достижения заданного усилия. В случае стационарных сварочных клещей базовая пластина укрепляется в захвате робота,

Б Усилие, прилагаемое к листу при силе сжатия 1,5 и 3,5 кН



и робот перемещает ее в направлении фиксированного электрода. Поскольку сам робот выполняет функции измерительного прибора, никакого дополнительного оборудования не требуется.

Эта функция позволяет не только получить точные данные об износе электродов, но и реализовать автоматический контроль износа. Для определенных ситуаций, таких как необходимость заправки или замены электрода или утеря электрода, могут быть заданы аварийные сигналы.

Контроль износа электродов может быть реализован и иначе, например, с использованием светового луча.

Автоматический отвод фиксированного рычага клещей

При размыкании клещей с механической системой уравнивания, фиксированный электрод автоматически отводится от листа. При программном уравнивании для отвода электрода от листа необходимо предусмотреть дополнительное перемещение в программе робота. Это делается для того, чтобы электрод при перемещении в следующую позицию не царапал лист.

Чтобы максимально упростить процедуру программирования точек сварки для пользователя, робот при размыкании клещей автоматически перемещает фиксированный рычаг на заданное расстояние в направлении, перпендикулярном плоскости листа. За перемещением для отвода электрода может непосредственно следовать угловая зона и следующая инструкция для перемещения в другую область. Дистанция отвода электрода (рис. 4) задается пользователем и может быть указана отдельно для каждого типа клещей.

Проверка программного уравнивания

Работа системы была тщательно проверена с по-

мощью динамометрических методов и скоростной видеосъемки на сварочных клещах разных марок, а также для всех роботов для точечной сварки производства АББ. Результаты, приведенные на рис. 5 и 6, получены при использовании стандартных клещей АББ X-gun типа SRT-M-E, установленных на роботе IRB6600/225. Глубина зева этих клещей составляет 645 мм, а максимальное усилие при сварке – 3,5 кН. Отклонение при этом достигает 4,7 мм.

Измерение усилий производилось с помощью очень жесткого металлического листа, закрепленного на стандартном датчике усилия. Используемая схема измерения

позволяла измерить усилие, прилагаемое только перпендикулярно поверхности листа. Это усилие приводит к изгибу и даже может вызвать повреждение листа и должно быть скомпенсировано системой уравнивания.

Как видно из рис. 5, при механическом уравнивании усилия на листе возникают, в основном, во время смыкания и размыкания клещей. Это обусловленная инерцией клещей сила реакции, возникающая при контакте электродов с листом. Сила уравнивания, сохраняющаяся во время сварки, связана с незначительной разбалансировкой в положении сварки.

При работе без механического уравнивания и компенсации отклонения положения клещей по фиксированному электроду, непосредственно контактирующему с листом, остаточное усилие на листе зависит от усилия сжатия при сварке, а следовательно, от отклонения фиксированного рычага. Становится понятно, насколько важно обеспечить достаточную компенсацию отклонения рычага.

Работа системы была тщательно проверена с помощью динамометрических методов и скоростной видеосъемки на сварочных клещах разных марок, а также для всех роботов для точечной сварки производства АББ.

Из результатов, зарегистрированных при работе с программным уравниванием, видно,

что во время сварки к листу в перпендикулярном направлении прикладывается лишь минимальная сила, не зависящая от ориентации клещей и усилия сжатия.

Работу системы Software Equalizing можно также оценить по видимому изгибу очень тонкого листа (при сварке которого требуется практически полное отсутствие усилий) на снимках, полученных с помощью ускоренной съемки – рис. 6. Из теста видно, насколько точно компенсируется отклонение фиксированного рычага во время наращивания усилия.

На рис. 6 приведены последовательности снимков, отражающих перемещение клещей в позицию сварки и смыкание клещей до толщины листа, а затем сжатие в режиме управления по усилию до заданного усилия сварки (3,5 кН). В данном случае толщина листа составляет около 1,0 мм.

На рис. 6а показано перемещение клещей в позицию сварки и смыкание клещей. Фиксированный (нижний) электрод подходит к листу на заданное расстояние отвода (в данном случае – 5 мм), прежде чем переместиться в позицию сварки. Во время этого перемещения клещи смыкаются синхронно с перемещением манипулятора с учетом толщины листа. За счет этого оба электрода касаются листа одновременно вне зависимости от заданной в программе скорости.

На рис. 6б и 6в показана стадия управления по усилию, в ходе которой происходит наращивание усилия сжатия, необходимого для сварки. В обоих случаях управление по усилию настроено одинаково, прилагается одинаковое усилие (3,5 кН).

На рис. 6б показана работа без какого-либо механического уравнивания. На самом деле, используемые клещи снабжены включенным механическим уравнивающим устройством, но поскольку лист не обеспечивает существенной реакции, устройство не может скомпенсировать отклонение рычага.

На рис. 6в показан тот же процесс при включенном программном уравнивании. В отличие от ситуации с механическим уравниванием, клещи удерживаются в нужном положении за счет компенсации отклонения. Отклонение рычага клещей точно компенсируется на протяжении всей стадии, и практически никакого перемещения листа не происходит. Благодаря тому, что риск изгиба или повреждения листа исключен, обеспечивается высокое качество сварки.

Результаты применения системы Software Equalizing разработки ABB Robotics свидетельствуют, что эта система может заменить собой механические устройства уравнивания на сварочных клещах с сервоприводом и обеспечить гораздо более точную балансировку.

Преимущества

Результаты применения системы Software

Equalizing разработки ABB Robotics свидетельствуют, что эта система может заменить собой механические устройства уравнивания на сварочных клещах с сервоприводом и обеспечить гораздо более точную балансировку. В системе предусмотрена функция корректировки неточностей, внесенных при программировании. Программа компенсирует отклонение фиксированного рычага клещей и износ сварочных электродов. В системе Software Equalizing используются внутренние схемы управления движением манипулятора с шестью степенями свободы. Помимо устройств, предусмотренных в системе управления роботом, для работы системы уравнивания не требуется никаких дополнительных приводов или другого механического оборудования.

Система обладает следующими преимуществами.

- В системе отсутствуют механические элементы, подверженные износу или поломкам. Это, в свою очередь, снижает риск, например, захвата электродов.
- На настройку и подгонку механической части уходит меньше времени.
- Система нуждается в меньшем объеме технического обслуживания и обеспечивает более высокий коэффициент готовности.
- Возможно применение более простых, легких, а значит, менее дорогостоящих сварочных клещей.
- Для работы клещей не требуется сжатый воздух, что позволяет упростить обвязку и исключить часть оборудования.
- Сила тяжести не влияет на работу – система дает воспроизводимые результаты вне зависимости от ориентации клещей.
- Система более удобна для пользователя благодаря функциям программирования, автоматическому отводу фиксированного рычага клещей, контролю износа электродов и т. п.

По некоторым элементам системы программного уравнивания подана заявка на патент.

Дополнительная информация о программном обеспечении АББ для систем работы с неокрашенными кузовами (BiW, Body in White) приведена на сайте www.abb.com/robotics.

Леннарт Зундстедт

Аке Улофсон

ABB Robotics

Вестерос, Швеция

lennart.sundstedt@se.abb.com

ake.olofsson@se.abb.com

Кристиан Мюллер

ABB Corporate Research

Ладенбург, Германия

christian.h.mueller@de.abb.com

6 Изображения процесса смыкания клещей, полученные с помощью скоростной съемки

а Перемещение клещей в позицию сварки



б Управление по усилию без механического уравнивания



в Управление по усилию с программным уравниванием

