

СВАРКА И СОЕДИНЕНИЕ — КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРЕТЬЕГО ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ

У. ДИЛТАЙ, проф., д-р-инж. (Ин-т сварки и соединения, Аахенский ун-т, Германия)

Сварка перспективных и современных материалов, а также соединение различных сочетаний материалов сопряжены с новыми требованиями к технологии сварки и соединению. В течение последних десяти лет были разработаны новые процессы и их модификации для дуговой и лучевой сварки, предназначенные для повышения экономической эффективности, снижения энергозатрат и обеспечения высокого качества сварных соединений. Все большее значение приобретают технологии так называемой холодной сварки. Анализируются последние достижения в области технологий сварки и соединения материалов с позиций их технических и экономических возможностей.

Ключевые слова: ключевые технологии, дуговая сварка, электронно-лучевая сварка, вневакуумная электронно-лучевая сварка, лазерная сварка, гибридная лазерная-МИГ сварка, точечная сварка, механическое соединение, клеевое соединение, эффективность

В природе не так много вещей, имеющих монолитную структуру и красоту горного хрусталя. Наше окружение состоит, в основном, из множества отдельных частей, которые необходимо соединить в цельную деталь, независимо от того, подвижные они или неподвижные, с тем, чтобы они могли функционировать как единая конструкция.

В данной работе рассматриваются три наиболее распространенные области применения и их связь с технологиями соединения.

Транспорт (рис. 1). Автомобиль состоит из множества отдельных деталей, которые соединяются между собой тысячами сварных точек, многими метрами сварных швов и, кроме того, в настоящее время еще и сотнями метров клеевых соединений. Железнодорожные транспортные средства, такие, например, как вагоны скоростных поездов ICE (междугородный поезд), представляют собой сварные конструкции. Вагон ICE имеет длину более 20 м и состоит более чем из 20 отдельных штампованных профилей, которые сваривают с использованием соответствующей технологии. Интересно отметить, что оконные проемы вырезают лазером только после полной сварки вагона. На воздушном транспорте в основном используются заклепочные соединения, однако в новом аэробусе 380 имеется много элементов внешней обшивки корпуса, для соединения которых впервые использовали лазерную сварку. Круизное судно состоит более чем из 300000 отдельных частей, и для его сборки необходимо сварить 900 км швов.

Таким образом, в настоящее время транспорт невозможно представить без применения сварки и эта тенденция сохранится и в ближайшем будущем.

Энергетика и гражданское строительство. Электростанции вырабатывают энергию. Для рентабельного (высокоэффективного) производства энергии большое значение имеют параметры пара: максимально высокое давление и, в то же время, высокая температура пара. Бойлеры, трубопроводы и турбины должны выдерживать эти высокие давления и температуры. Этого можно достичь только выбором соответствующих материалов и способов соединения. В области химического машиностроения огромную проблему представляет чувствительность к коррозии. Проблему агрессивных сред, таких как кислоты и щелочи, в сочетании с чрезвычайно высокими давлениями и чрезвычайно низкими или высокими температурами, можно решить только путем применения специальных материалов, что опять-таки накладывает высокие требования на способы соединения. Это в равной мере относится и к области гражданского строительства, где стальные конструкции невозможно построить без сварки. Даже если используемая сталь и не видна, прочность и безопасность бетонных высотных зданий зависит от находящихся внутри них массивных стальных конструкций, сталь в которых была соединена сваркой. Таким образом, энергетику и гражданское строительство также нельзя представить без применения сварки.

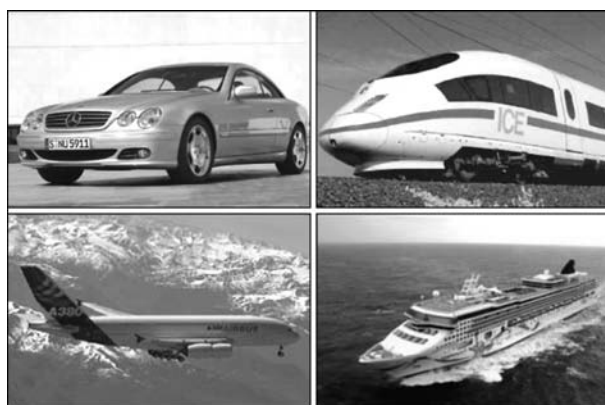


Рис. 1. Сварные конструкции, используемые в транспорте

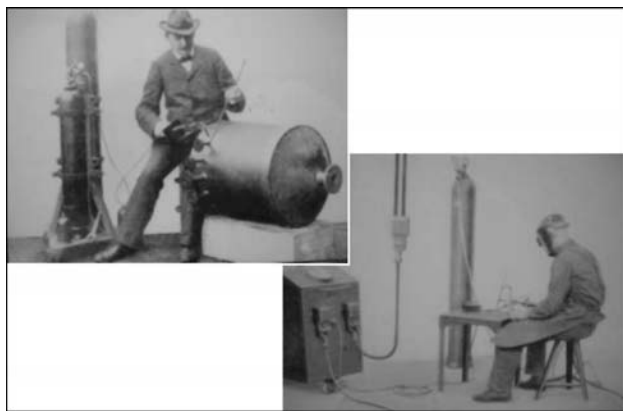


Рис. 2. У истоков современной технологии сварки

Сборочные узлы (модули) очень малых размеров, иногда практически невидимые, также необходимо соединять. Современную электронику и компьютерную технологию в настоящее время просто невозможно представить без применения сложных способов высокотемпературной пайки. Чтобы заставить компьютер работать, необходимо выполнить тысячи паяных точек на минимально ограниченной площади. Мобильные телефоны не будут работать без выполнения более чем тысячи паяных точек. Датчики, узлы-операторы и чипы — все они соединяются с применением различных способов. Создание микросистем невозможно без использования технологии соединения, и данная тенденция сохранится и в будущем.

Современные технологии соединения охватывают широкий диапазон размеров — от 10^3 до 10^{-6} . Они являются абсолютно необходимыми при создании разнообразнейших изделий — от кораблей до чипов. Технологии соединения являются ключевыми технологиями будущего.

Сама природа создала универсальные методы соединения. Паутина, муравейник или росянка — это только несколько примеров применения технологии соединения в природе.

Технология соединения — одна из самых древних технологий, применяемых человеком. Остатки материальной культуры древней Месопотамии, датируемые 2500 г. до н. э., показывают, что уже тогда человек использовал методы соединения для создания ювелирных изделий и предметов первой необходимости. Артефакты, найденные в разных уголках земли — от Китая, Европы и до Южной Америки, свидетельствуют о древности и масштабы применения технологии соединения.

Современные способы сварки впервые появились приблизительно в 1850 г., когда для расплавления соединяемых материалов было использовано кислородно-ацетиленовое пламя (ацетилен + кислород). В конце XIX в. впервые для плавления материалов использовали энергию электрической дуги (рис. 2). Эти способы при-

меняются и сегодня. Кроме того, они постоянно совершенствуются и модифицируются.

Тенденции в развитии процессов дуговой сварки. Дуговая сварка металлическим электродом в защитных газах была внедрена в промышленное производство в начале 1960-х годов и с тех пор была значительно усовершенствована. Большая работа была проведена по повышению производительности наплавки, эффективности и скорости сварки, а также снижению тепловложения с расширением границ применения известных процессов и разработкой новых.

Дуговая сварка металлическим электродом в защитных газах. Современная электроника и компьютерное управление, а также усовершенствования в области подачи проволоки способствовали созданию источников питания с цифровым управлением, отличающихся высокой удельной мощностью и новыми характеристиками. Цифровые устройства управления обеспечивают гибкую реализацию нескольких, совершенно различных характеристик источников питания для осуществления сложных стратегий управления. Были усовершенствованы алгоритмы управления процессом импульсно-дуговой сварки, что обеспечило повышение стабильности процесса и способствовало исключению коротких замыканий, а также быстрому восстановлению после них. Применение цифровых устройств управления намного облегчает подключение к внешнему компьютеру, так что современные источники питания способны выполнять множество функций по регулированию характеристик процесса, совершенствованию его параметров, документированию и обеспечению качества.

Такое оборудование можно использовать для всех стабильных процессов сварки, начиная с известной сварки короткой дугой до процессов, отличающихся высокой производительностью наплавки, таких как сварка вращающейся дугой и дуговая сварка со струйным переносом металла.

Двухдуговая сварка. Дуговая сварка металлическим электродом в защитных газах одной проволокой с применением дуг указанных типов достигла рабочих диапазонов, которые, похоже, далее уже невозможно расширить путем дальнейших разработок источников питания, присадочных материалов или защитных газов. В соответствующей литературе упоминается скорость сварки до 2 м/мин в случае сварки короткой дугой с высокой производительностью наплавки, а также производительность наплавки до 14 кг/ч в случае вращающейся дуги. Дальнейшее повышение производительности наплавки, кроме прочего, ограничено также и нестабильным вращением дуги.

Все это, а также необходимость обеспечения высокой производительности наплавки со снижением тепловложения способствовало разработке технологии дуговой сварки металлическим элект-

тродом в защитных газах двумя проволоками, где в одном мундштуке совмещены две электродных проволоки. Исследования, проведенные в данной области в 1975 г., не дали никакого результата, так как технология источников питания в то время не могла обеспечить стабильность процесса сварки. Однако эти трудности были преодолены благодаря появлению источников питания нового поколения и разработан новый перспективный промышленный способ двухдуговой сварки в двух вариантах. Применение второго процесса оказало значительное влияние на форму сварочной ванны. Последовательное расположение электродов способствует расширению сварочной ванны в направлении сварки. Передняя проволока обеспечивает соответствующее проплавление, в то время как задняя электродная проволока определяет форму валика. Удлиненная сварочная ванна способствует улучшению дегазации, а это, в свою очередь, снижает склонность к образованию пор (особенно при сварке алюминия и сварке по грунтовочному слою). Некоторое скручивание электродных проволок при их последовательном расположении повышает возможность заполнения сварочного зазора на пониженных уровнях тока сварки, однако это влияет на скорость сварки. Скручивание приблизительно на 20° требует снижения скорости сварки приблизительно на 25...30 %.

Процессы дуговой сварки металлическим электродом в защитных газах двумя проволоками можно разделить на две группы — двухдуговая сварка, представляющая собой более старый процесс, в котором применяется общий мундштук, и сварка последовательно расположенными дугами, где для каждой проволоки используется отдельный, электрически изолированный мундштук.

Технология двухдуговой сварки металлическим электродом в защитных газах. Разработки в данной области начались с двухдуговой сварки металлическим электродом в защитных газах, для которой характерно применение общего мундштука, подсоединенного к одному источнику питания (или двум спаренным источникам). В результате к двум электродным проволокам подается одно и то же напряжение. Поскольку два равнонаправленных токоподвода притягиваются друг к другу под воздействием магнитных сил, дуги, образуемые обоими электродами, имеют общее основание (в зависимости от расстояния между ними). При расстоянии 4...7 мм, в зависимости от диаметра проволоки и общей силы тока, отделяющиеся капли встречаются в одной общей сварочной ванне. При меньших расстояниях между обоими электродами может образоваться капельная перемычка, что может обусловить нестабильность процесса. В случае слишком большого расстояния между проволоками интенсивное дутье и разделение сварочных ванн может вызвать сильное разбрызгивание.

Основной недостаток этого варианта процесса заключается в том, что параметры сварки нельзя установить отдельно для каждого электрода, что делает невозможным использование разной скорости подачи проволок и проволок разного диаметра. Кроме того, короткое замыкание одной дуги гасит вторую дугу, так как используется общий мундштук, что снижает стабильность всего процесса сварки. Это ограничивает область применения двухдуговой сварки металлическим электродом в защитных газах процессами с переносом металла без коротких замыканий дугового промежутка, такими как сварка со струйным переносом металла и сварка импульсной дугой.

Сварка металлическим электродом в защитных газах двумя последовательно расположенными дугами. Для оптимизации характеристик процесса и обеспечения возможности отдельного управления двумя дугами используют горелки с электрически изолированными мундштуками и независимо синхронизированные управляемые источники питания (рис. 3). Это позволяет использовать данный процесс для сварки короткой дугой, а также применять, при необходимости, проволоки различных диаметров, подаваемые с различной скоростью, что обеспечивает стабильность процесса.

Сварка МИГ на переменном токе. Потребность в более легких конструкциях обусловила применение более тонких листовых материалов, что, в свою очередь, вызвало затруднения при заполнении сварочного зазора. При сварке металлическим электродом в защитном газе на обратной полярности снижается тепловложение в основной металл, уменьшается проплавление, а также улучшается заполнение зазора. К сожалению, применение обратной полярности ухудшает стабильность процесса. Источники питания для сварки МИГ на переменном токе совмещают осуществление стандартного импульсного процесса с регулируемой фазой обратной полярности. Это обеспечивает стабильность процесса сварки с регулируемым проплавлением и заполнением зазора, что удовлетворяет требованиям промышленного применения при сварке тонких листов с зазорами.

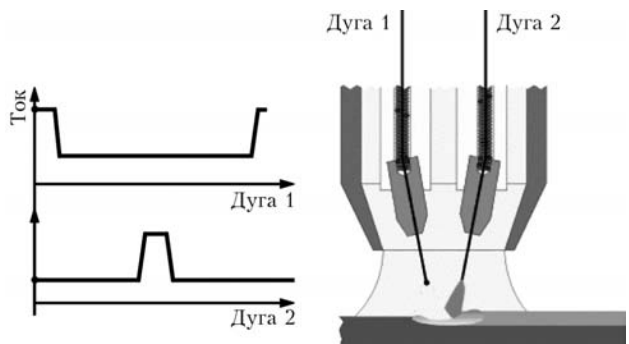


Рис. 3. Схема дуговой тандемной сварки

Процессы СМТ. СМТ («холодный перенос металла») используется в процессе дуговой сварки металлическим электродом в защитном газе и обеспечивает очень низкое тепловложение по сравнению с обычным процессом сварки короткой дугой.

В обычном процессе сварки короткой дугой проволока подается непрерывно. В момент короткого замыкания ток сильно повышается и вызывает прерывание цепи и повторное зажигание дуги. Высокий ток в момент повторного зажигания дуги и неконтролируемое прерывание цепи вызывает усиление разбрызгивания.

В процессе СМТ проволока перемещается не только по направлению к изделию, но и отводится от изделия, при этом ей сообщаются колебательные движения с частотой до 70 Гц. Таким образом, перемещение проволоки является частью управления процессом.

Ток в процессе СМТ с короткой дугой очень низкий, перенос металла происходит практически при нулевом значении тока. Кроме того, короткое замыкание прерывается контролируемым образом. Оно зависит от обратного хода проволоки. Обе характеристики обеспечивают низкое тепловложение практически без образования брызг как при сварке, так и при пайке.

Основные области применения процесса СМТ: высокотемпературная пайка МИГ без разбрызгивания, сварка тонких листов (алюминий, сталь и высокопрочная сталь) и дуговая сварка стали с алюминием.

Высокотемпературная пайка МИГ. Основное различие между сваркой и пайкой МИГ заключается в металлургических особенностях. При сварке требуется определенная глубина проплавления для обеспечения сплавления между основным и присадочным материалами. При пайке основной материал по возможности не должен расплавляться. Для пайки МИГ используется то же оборудование, что и для сварки МИГ, а также проволока из легкоплавкой (900...1100 °С) бронзы на основе меди. Может применяться как короткая, так и импульсная дуга.

Высокотемпературная пайка МИГ — это установленный процесс, используемый для соединения тонких оцинкованных листов. Поскольку основной материал не должен плавиться, тепловложение здесь минимальное, что снижает повреждение цинкового покрытия до минимума и не оказывает отрицательного воздействия на коррозионные свойства (рис. 4).

Прочность паяных швов сопоставима с прочностью сварных швов. Кроме того, окончательная обработка паяных швов не вызывает никаких затруднений. Благодаря этому пайка МИГ становится все более популярной не только в автомобилестроении, где она применяется для изготовления кузовов автомобилей, но также и во многих других

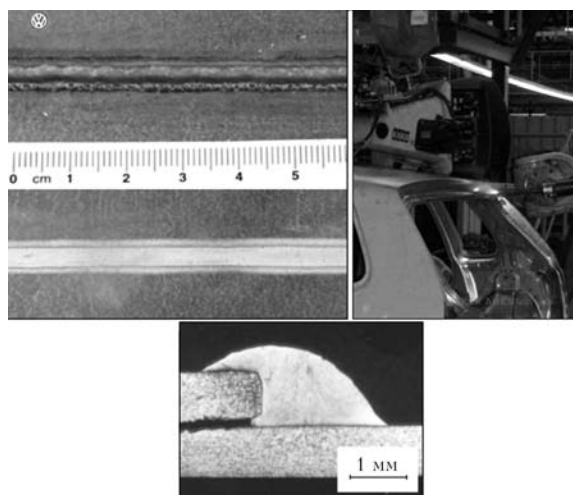


Рис. 4. Высокотемпературная пайка МИГ (расходуемый электрод: CuSi_3 , диаметр 1 мм; защитный газ: 0,5 % O_2 ; скорость пайки 100 см/мин; энергозатраты 546,6 Дж/см)

отраслях, где преимущества, заключающиеся в низком тепловложении, низкой деформации, минимальном повреждении цинковых покрытий и высокой скорости пайки, перевешивают такие недостатки, как высокая стоимость бронзовых электродов, необходимых для данного процесса.

Плазменная сварка МИГ. Плазменная сварка МИГ, ранее разработанная как процесс, отличающийся высокой производительностью наплавки, в настоящее время переживает второе рождение благодаря появлению новых горелок и новых источников питания. Плазменный процесс МИГ — это стандартный процесс МИГ, в котором используется концентрическая плазменная горелка. Поскольку плазменный процесс стабилизирует процесс МИГ и наоборот, параметры обоих процессов можно менять в широком диапазоне. Процесс имеет очень широкую область применения — от высокопроизводительной сварки алюминия и стали с использованием предварительного нагрева проволоки и дополнительного тепловложения, обеспечиваемого плазменным процессом, до высокостабильных процессов со средней производительностью наплавки, имеющих дополнительное преимущество, заключающееся в том, что введение плазмы способствует очищению поверхности изделия непосредственно перед наплавкой, что очень важно для сварки, например, алюминия, а также для плазменной пайки МИГ, отличающейся чрезвычайно низким тепловложением и возможностью воздействия на форму валика.

Электронно-лучевая сварка. Область применения электронно-лучевой сварки (ЭЛС) простирается от сварки фольги толщиной несколько десятых миллиметра до сварки толстых листов с глубиной проплавления 150 мм. Практически все электропроводящие материалы можно сваривать этим способом. Кроме того, многие материалы можно соединять в разнородных сочетаниях. Вы-

сокая плотность энергии в пределах до 10^8 Вт/см, что является типичным для ЭЛС, и соответствующий коэффициент формы шва (отношение глубины к ширине 50:1) обуславливают широкую область применения этого процесса.

Стандартная ЭЛС, как правило, выполняется в вакуумной камере с высоким или низким вакуумом. В то же время электронный луч можно использовать и на открытом воздухе.

В автомобильной промышленности ЭЛС в вакууме в основном используется для изготовления деталей двигателей и зубчатой передачи. Метод ВВ ЭЛС (вневакуумная электронно-лучевая сварка), в основном, используется для соединения листовых материалов; часто применяется присадочный металл, обеспечивающий высокие возможности заполнения разделки.

Вневакуумная электронно-лучевая сварка. Поскольку для ЭЛС в воздушной атмосфере (вневакуумная ЭЛС) не нужна вакуумная камера, этот способ имеет большие преимущества, так как исключает расход времени на откачку камеры и размеры свариваемых деталей не ограничены размерами камеры. Способ был разработан в Германии в 1960-х годах. Генераторы пучка имеют ту же конструкцию, что и генераторы для вакуумной ЭЛС. На рис. 5 показан генератор ВВ ЭЛС и типичное применение процесса.

Половины пустотелых алюминиевых профилей соединяют способом ВВ ЭЛС. Скорость сварки составляет до 12 м/мин, что обеспечивает высокую производительность процесса. Кроме высокой скорости сварки существуют также и другие причины, которые повышают целесообразность применения ВВ ЭЛС.

По сравнению со способами лазерной сварки, которые во многих случаях непосредственно контактируют с ВВ ЭЛС, электронный луч способен проникать через поверхность изделия независимо от угла ввода или состояния поверхности. После того, как луч вышел из генератора, он попадает в область повышенного давления, практически равного атмосферному. Последовательно соединенные камеры обуславливают падение давления. Луч фокусируют на выходном сопле диаметром 1...2 мм. При повышении давления окружающей среды электронный луч рассеивается вследствие столкновения с молекулами газа и расширяется. В открытой атмосфере луч сохраняет свою начальную плотность энергии только в коротком промежутке. Во время сварки максимальное рабочее расстояние до изделия составляет приблизительно 25 мм.

Диаметр пучка равен 1,5...2,5 мм, независимо от рабочего расстояния и ускоряющего напряжения. Эта сфокусированная точка, имеющая достаточно большой размер по сравнению с точкой при вакуумной ЭЛС и лазерной сварке, в соче-

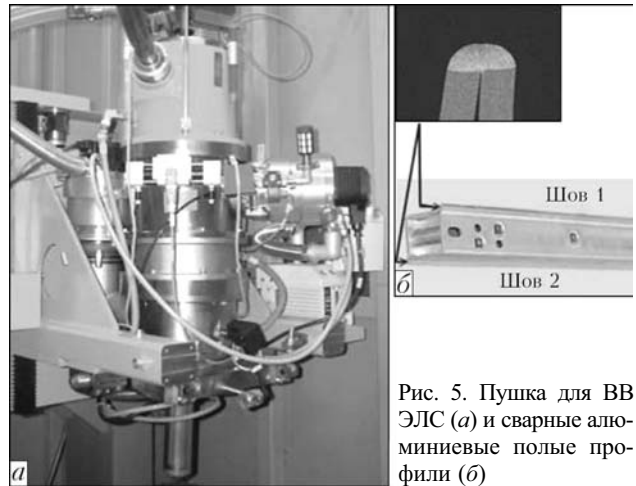


Рис. 5. Пушка для ВВ ЭЛС (а) и сварные алюминиевые полые профили (б)

тании с применением присадочного металла обеспечивает хорошее заполнение зазора при относительно большой разделке.

Использование плотности энергии электронного пучка в открытой атмосфере, а также высокой мощности установки позволяет достичь скорости сварки 20 м/мин для стальных материалов и 50 м/мин для алюминиевых сплавов.

Лазерная сварка. Швы, полученные лазерной сваркой, отличаются высоким коэффициентом формы шва (отношение глубины к ширине), что обеспечивает минимальное влияние на свойства материала и высокую скорость сварки. В то же время требования к подготовке шва и сборке под сварку достаточно высокие, а способность заполнения зазора низкая. Последние разработки в основном сфокусированы на оптимизации возможности заполнения зазора и времени сварки, а также на снижении требований к подготовке поверхности и сборке под сварку.

Лазерная сварка с применением присадочной проволоки. Самым простым вариантом данного способа является простое добавление устройства прецизионной подачи проволоки к стандартному лазерному процессу. Используя присадочный металл, можно контролировать заполнение зазора и влиять на металлургию шва. Это позволяет использовать лазерную сварку присадочной проволокой также для соединения различных комбинаций материалов через промежуточные слои, а также для соединения материалов, склонных к образованию трещин.

Гибридная лазерная — МИГ сварка. Она представляет собой сочетание лазерного процесса сварки и стандартного процесса МИГ, которые имеют общую зону сварки. Данный способ сочетает возможность глубокого проплавления, характерного для лазерной сварки, и высокую способность заполнения зазора, характерную для сварки МИГ. Более того, лазерный процесс стабилизирует процесс МИГ. Так как присадочный металл применяется в жидком виде, можно по-

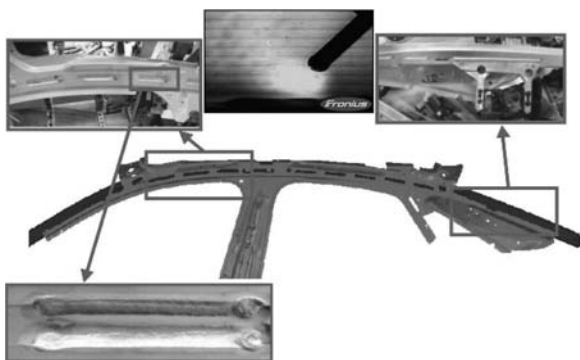


Рис. 6. Применение гибридной лазерной МИГ сварки при изготовлении автомобилей

лучить высокую скорость сварки при малом количестве подводимого тепла. Гибридная лазерная — МИГ сварка применяется для соединения сталей (CO_2 -лазеры) и легких сплавов (Nd:YAG-лазеры). Свариваемые листы при этом могут иметь различную толщину, начиная от толщины обшивки кузова легкового автомобиля (толщина ограничивается только имеющейся мощностью лазера). Согласно практическим оценкам, для сварки стального листа толщиной 1 мм необходим 1 кВт мощности CO_2 -лазера. Первым промышленным применением данного способа в автомобилестроении было изготовление алюминиевых кузовов легковых автомобилей (рис. 6).

Дистанционная сварка. Для замены точечных швов лазерными обычно используют короткие швы, при этом для перемещения от шва к шву требуется достаточно длительное время в случае использования лазерной оптики, направляемой роботом. Для сокращения этого времени необходимо уменьшить перемещаемую массу, и идеальным вариантом в этом случае является простое отклонение лазерного луча. Принцип дистанционной сварки заключается в том, что одно или два зеркала отклоняют луч лазера, при этом фокус направляется по высоте путем перемещения длиннофокусных линз по оси луча.

Реализация дистанционной сварки стала возможной только с появлением нового поколения лазеров с оптимальным качеством луча, например, плоских CO_2 -лазеров. Применение таких лазеров вместе с фокусирующими линзами с фокусным расстоянием 1600 мм открывает новые возможности, которые можно еще более расширить, подсоединив установку для дистанционной сварки к роботу с тремя степенями подвижности. С применением дистанционной сварки время перемещения между швами можно сократить до нескольких сотых секунды, что уменьшает время сварки на 25 %.

Точечная сварка. Высокопрочные стали, которые будут использоваться в кузовах легковых автомобилей будущих поколений, требуют модификации существующей технологии точечной сварки. Основная проблема при этом заключается

в применении специальных программ «усилие/перемещение» с повышенными силовыми нагрузками, поскольку их можно использовать с современным пневматическим или гидравлическим сварочным оборудованием.

В этой связи разрабатываются новые электромеханические сварочные устройства, способные обеспечивать необходимые повышенные силовые нагрузки. В настоящее время проводится оценка их возможностей.

Технологии «холодного» соединения. Сочетание различных видов материалов, например, сталей, легких сплавов или полимеров, требует других процессов соединения, отличных от классических процессов термической сварки. Процессы механического соединения и соединения склеиванием приобретают все большее значение с расширением применения указанных материалов.

Механическое соединение. Расширяется применение соединения загибом (клинчерное соединение) и заклепками, и не только в конструкциях из различных материалов, но и для точечного соединения алюминия. В случае листовых материалов процесс клинчерного соединения не требует дополнительных элементов, таких как заклепки. Недостатком этого процесса является тот факт, что получаемые при этом соединения имеют низкое сопротивление разрушению при столкновении, а также что его применение ограничивается материалами низкого класса прочности. Клепка обеспечивает уровни прочности, сопоставимые с уровнями прочности точечной сварки. Характерным для этого варианта механического соединения является дополнительное использование заклепок, которые прорезают листовой материал (рис. 7).

Преимущества клинчерного соединения и клепки заключаются в низкой деформации и возможности соединения разнородных материалов. В некоторых случаях эти процессы могут использоваться вместо точечной сварки.

Соединение склеиванием. В последние годы расширяется применение соединения склеиванием конструктивных материалов для изготовления кузовов легковых автомобилей. Преимущества заключаются в двумерном перераспределении нагрузки, что способствует повышению жесткости и сопротивления разрушению соединяемой конструкции в случае столкновения. Соединение склеиванием, как правило, сочетают с другими процессами соединения, такими как клинчерное соединение, клепка или точечная сварка.

Моделирование технологий соединения. Сокращение времени разработки моделей новых автомобилей, необходимость снижения стоимости и возрастающие требования к безопасности повышают спрос на сложные средства моделиро-

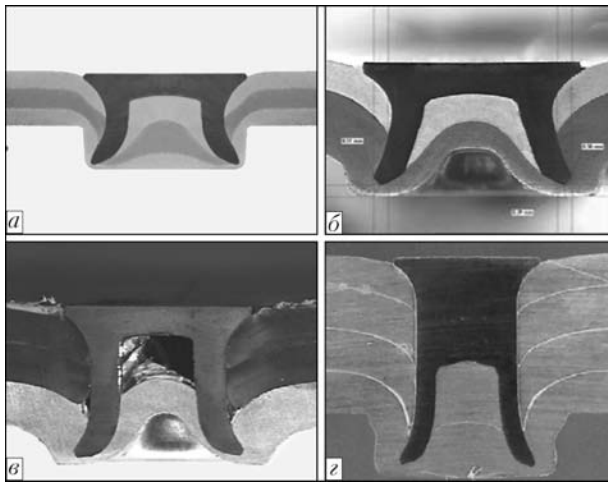


Рис. 7. Точечные соединения с помощью клепки: *a* — Al-сталь-Al; *b* — Al-сталь; *c* — Al-пластик; *d* — Al-1,5 мм + 2 мм + 2 мм + 2 мм

вания. Моделирование стало важным вспомогательным средством, которое способствует углубленному исследованию свойств изделий, помогает оптимизировать элементы конструкций и производственные процессы, а также сокращает время разработки, снижает стоимость продукции и обеспечивает повышение ее качества.

Моделирование процессов сварки и соединения основано на применении системы математических уравнений, которые описывают существенные физические процессы, происходящие при сварке. Моделирование в области сварки МИГ/МАГ, ТИГ, лучевой и точечной сварки развивается в следующих направлениях, связанных с различными физическими явлениями, наблюдаемыми в процессе сварки: взаимодействие источника тепла с металлом; потоки тепла и жидкости; кристаллизационная микроструктура шва; фазовые превращения/микроструктура шва; остаточные напряжения и деформации; механические свойства и целостность; геометрия шва.

Было разработано несколько программ моделирования для расчета одного или нескольких из указанных параметров. Работы в этой области продолжаются. Ожидается, что они позволят связать результаты реализации указанных программ моделирования с программным обеспечением САПР и системами планирования с тем, чтобы получить полное виртуальное представление обо всех аспектах проектирования, испытания и производства автомобилей.

Welding of advanced and modern materials and joining of material combinations create new demands for the welding and joining technologies. During the last ten years the new processes and process variations have been developed, particularly in the fields of arc and beam welding, with the aim to increase the economic efficiency, to reduce the energy input and to assure the quality of the welded joints. The so-called «cold joining technologies» became challenging. The work presents an outline of recent advancements of the welding and joining technologies, and specifies their technical and economical potentials.

Коммерческая ценность методов соединения. В недавнем исследовании «Макроэкономическая и отраслевая оценка разработки и применения технологий соединения», которое по просьбе Немецкого сварочного общества было проведено в 2005 г. г-жой Мосс, профессором института земли Нижний Рейн, для выставки «Сварка и резка», описано прямое и косвенное создание прибавочной стоимости технологий соединения по результатам их применения.

В Германии прямая прибавочная стоимость, создаваемая применением технологий соединения, с учетом устройств, присадочных материалов, газов, клеевых материалов, безопасности труда и профессионального обучения, составляет приблизительно 3,6 млрд евро. Это консервативная оценка стоимости, поскольку большинство способов соединения, согласно статистике, сложны в применении. Германия владеет приблизительно одной третьей частью европейского рынка технологий соединения. В то же время Европа удерживает приблизительно одну треть соответствующего мирового рынка. Это значит, что если доля рынка технологий соединения Германии составляет 3,6 млрд евро, путем экстраполяции получаем оценку соответствующего рынка Европы, составляющую приблизительно 11 млрд евро, и, в мировом масштабе, получаем 33 млрд евро.

Поскольку соединение представляет собой междисциплинарную технологию, которая используется во всей промышленности в национальном масштабе, очень важно знать количественное выражение стоимости, создаваемой в обрабатывающей промышленности с использованием методов соединения. Согласно консервативной оценке, в Германии эта цифра равняется приблизительно 27 млрд евро, что составляет приблизительно 4,8 % общей стоимости, создаваемой немецкой обрабатывающей промышленностью.

В Германии в области технологий соединения работает приблизительно 640000 человек, что составляет приблизительно 6 % общего количества работников, занятых в обрабатывающей промышленности. Каждое 16-е рабочее место в обрабатывающей промышленности создано благодаря применению технологий соединения.

Таким образом, можно заключить, что соединение — это междисциплинарная, сложная и незаменимая ключевая технология и останется таковой также и в третьем тысячелетии.