

## ВВЕДЕНИЕ

**В** настоящее время перед отечественным производителем сварочных работ стоит задача добиться максимального повышения производительности на фоне снижения составляющей ручного труда. В этом плане наиболее перспективным является применение контактной сварки во всех видах производства.

Контактная сварка благодаря автоматизации, высокому качеству и повышенной работоспособности сварных конструкций заняла лидирующее положение в автомобильной, авиационной, электронной и строительной промышленности, вагоностроении, котло- и турбостроении и многих других отраслях народного хозяйства.

Оборудование для осуществления контактной сварки имеет ряд существенных отличий от оборудования для выполнения других способов сварки, что объясняет особые требования к обслуживающему персоналу и тем, кто будет им руководить.

Именно на будущих технологов и инженеров, работающих с контактными сварочными машинами, и рассчитано данное учебное пособие, которое также будет полезно и для других специалистов, по роду своей деятельности сталкивающихся с контактной сваркой.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**К**онтактная сварка — это процесс образования неразъемных соединений конструкционных металлов в результате их кратковременного нагрева электрическим током и пластического деформирования усилием сжатия.

### 1.1.

#### КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Как способ получения неразъемных соединений контактная сварка известна с конца прошлого века. У ее истоков стояли три выдающиеся личности.

Английский физик **Уильям Томсон** — **лорд Кельвин** (1824–1907) — основоположник термодинамики, автор понятия абсолютной температуры и шкалы Кельвина, автор эффекта Джоуля–Томсона, инициатор и руководитель грандиозной эпопеи по прокладке телеграфного кабеля между Англией и США по дну Атлантики, автор 70 изобретений, в 1856 г. предложил стыковую контактную сварку.

Русский инженер-изобретатель **Н. Н. Бенардос** (1842–1905) — автор точечной и шовной сварки, а также 120 других изобретений, в 1877 г. предложил один из наиболее распространенных способов контактной сварки — точечную сварку. Он же в 1882 г. изобрел дуговую сварку.

Американский изобретатель **Элихью Томсон** (1853–1937), кроме 700 изобретений, в 1877 г. разработал способ и оборудование для стыковой сварки оплавлением; он же автор электросчетчика, заземления, электропечи, холодильника.

Широкое использование контактной сварки в нашей стране началось в 1930-х гг. после создания индустриальной базы. В 1936 г.

на заводе «Электрик» освоили промышленный выпуск контактных машин (аппараты для шовно-стыковой сварки труб, машины для стыковой сварки автомобильных колес, прессы для рельефной сварки и другое оборудование). Параллельно с этим в предвоенные годы появляется ряд оригинальных отечественных научных и технологических разработок в области контактной сварки: предложена точечная и стыковая сварка разрядом конденсаторов, осуществлена точечная сварка узлов авиационных конструкций из низкоуглеродистой стали, разработана технология односторонней точечной и шовной сварки (с ее применением выполнена статуя «Рабочий и колхозница»).

Работы по развитию контактной сварки свое продолжение получили после Великой Отечественной войны. В эти годы над развитием теории контактной сварки работали Н. Н. Рыкалин (теория тепловых процессов), В. К. Лебедев (разработка и применение принципов подобия) и др. Были разработаны технология точечной сварки закаливающихся сталей, а также жаропрочных сталей и сплавов на никелевой основе с использованием двухимпульсных циклов нагрева, технология точечной сварки деталей из конструкционных сталей толщиной 10...12 мм и более (Институт электросварки им. Е. О. Патона), технология точечной сварки деталей из алюминиевых сплавов, точечная микросварка с использованием конденсаторов. Контактная точечная сварка начала применяться в автомобилестроении и авиационной промышленности.

В 1950-е гг. контактная сварка заняла лидирующее положение в автомобиле- и вагоностроении. Началось внедрение в производство контактных машин с выпрямлением сварочного тока во вторичном контуре. Контактная сварка получила широкое применение в строительной технике при изготовлении экономичных жестких каркасов и сеток для армирования железобетонных конструкций. В 1950–1952 гг. Институт электросварки совместно с Министерством строительства предприятий нефтяной промышленности создал новый способ стыковой сварки оплавлением стыков нефте- и газопроводных труб большого диаметра в полевых условиях (Н. Г. Остапенко, В. К. Лебедев).

В течение 1952–1968 гг. контактные машины оснастили логикой в схемах управления, тиристорами в силовых блоках. Для контактной сварки стали использоваться ЭВМ, манипуляторы, роботы.

В 1970-е гг. получили развитие «жесткие» режимы контактной сварки (большие сварочные токи и малое время сварки). На 30...40% повысилась производительность контактной сварки. Разработаны приборы для контроля за соблюдением сварочных

режимов — переносные динамометры, тороидальные измерители тока, приборы для замера омического сопротивления вторичного контура сварочных машин, регистратор времени цикла сварки. Увеличилась прочность точечных сварных соединений, что сделало возможным применять контактную сварку для выполнения ответственных деталей и узлов.

В 1975 г. в Институте электросварки созданы технологический процесс и специальная внутритрубная машина К-700 «Север» для сварки газопроводов диаметром 1420 мм с толщиной стенки до 25...30 мм, длиной до 86 м из сталей повышенной прочности. Чистое машинное время сварки стыка трубы этой установки составляет около 2 мин (при ручной сварке 6...8 человек/часов).

В настоящее время контактная сварка — один из ведущих способов неразъемного соединения деталей в различных отраслях техники. Она отличается очень высокой степенью механизации, роботизации, автоматизации и, как следствие, высокой производительностью. Благодаря совершенствованию технологического процесса и модернизации оборудования области ее использования непрерывно расширяются. Сейчас по объему выпуска сварных изделий контактная сварка составляет 90% среди всех способов сварки давлением и 50% в общем объеме всех способов сварки.

## **1.2. ВИДЫ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ**

Известные способы контактной сварки классифицируют по ряду признаков:

- по технологическому способу получения соединений — точечная, рельефная, шовная, стыковая;
- по конструкции соединения — нахлесточная или стыковая;
- по состоянию металла в зоне сварки — с расплавлением металла или без расплавления;
- по способу подвода тока — одно- и двухсторонняя;
- по роду сварочного тока и форме импульса — переменный ток промышленной, повышенной и пониженной частоты; постоянный, униполярный ток одной полярности с переменной силой в течение импульса;
- по числу одновременно выполняемых соединений — одноточечная, многоточечная, сварка одним или несколькими швами;
- по наличию дополнительных связующих компонентов (клея, грунта, припоя и др.);

- по характеру перемещения роликов при шовной сварке — непрерывная (с постоянным перемещением роликов) или шаговая (с остановкой роликов во время сварки).

**Точечная сварка** — способ контактной сварки, при котором детали свариваются по отдельным ограниченным участкам касания (точкам). При точечной сварке (см. рис. 1.1) детали 1 собирают внахлестку, сжимают усилием  $F_{св}$  электродами 2, через которые пропускают электрический ток  $I_{св}$ , генерируемый в сварочном трансформаторе 3. При этом происходит расплавление металла на границе деталей, образуется совместная литая зона — ядро сварной точки 4.

Нагрев при точечной сварке проводят импульсами переменного тока промышленной частоты 50 Гц (реже — повышенной частоты 1000 Гц), а также импульсами постоянного или униполярного тока.

По способу подвода тока к свариваемым деталям различают двустороннюю и одностороннюю сварку. В первом случае электроды 2 (рис. 1.1а) подводят к каждой из деталей 1, а во втором — к одной из деталей (например, верхней, рис. 1.1б). Для повышения плотности тока в точках касания деталей нижнюю деталь прижимают к медной подкладке 6, которая одновременно выполняет роль опоры.

Чаще всего за цикл сварки получают одну точку (одноточечная сварка) и реже одновременно две и более точек (многоточечная сварка). Иногда при точечной сварке применяют комбинированные соединения (клеесварные и сварнопаяные). Клей и припой вводят под нахлестку для повышения прочности и коррозионной стойкости соединений.

**Рельефная сварка** — одна из разновидностей точечной сварки. При этом на поверхности одной из деталей предварительно формируют выступ — рельеф 7 (рис. 1.1в), который ограничивает начальную площадь контакта деталей, в результате чего при сварке в этой зоне повышаются плотность тока и скорость тепловыделения. При нагреве рельеф постепенно деформируется; на определенной стадии процесса сварки формируется ядро 4, как при обычной точечной сварке. Часто на поверхности детали выполняют несколько рельефов или один протяженный выступ замкнутой формы, например в виде кольца. После прохождения сварочного тока получают одновременно несколько точек или непрерывный плотный шов (контурная рельефная сварка).

**Шовная сварка** — способ получения герметичного соединения (шва) путем образования ряда перекрывающихся точек. Подвод тока и перемещение деталей осуществляют с помощью вращающихся дисковых электродов-роликов 8 (рис. 1.1г). Как и при

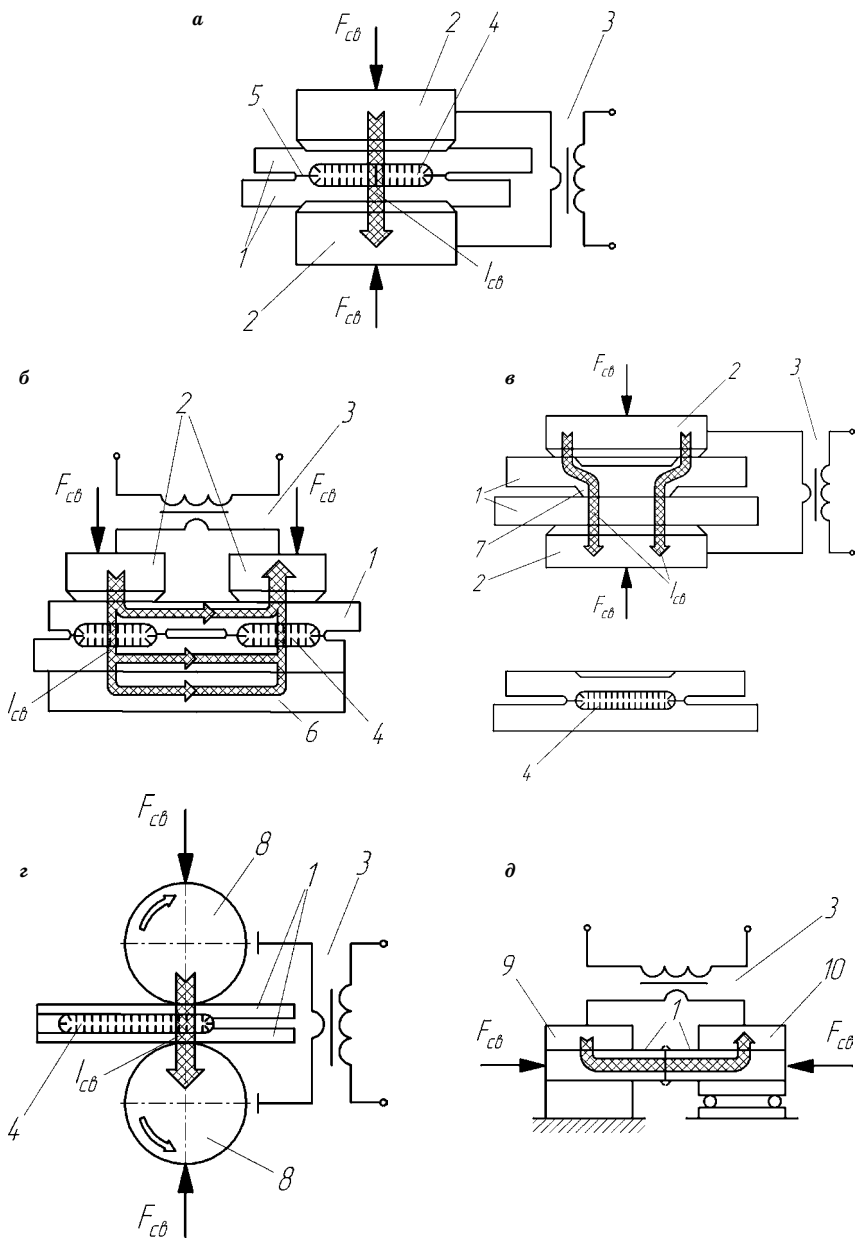


Рис. 1.1  
Основные способы контактной сварки

точечной сварке, детали собирают внахлестку и нагревают кратковременными импульсами сварочного тока. Перекрытие точек достигается соответствующим выбором паузы между импульсами тока и скоростью вращения роликов. В зависимости от того, вращаются ролики непрерывно при сварке шва или останавливаются на время прохождения сварочного тока, различают непрерывную и шаговую сварку. Известны некоторые разновидности шовной сварки — односторонняя, многошовная (одновременная сварка нескольких швов на одной машине), шовно-стыковая сварка.

**Стыковая сварка** — способ контактной сварки, когда детали соединяются по всей площади касания (по всему сечению). Детали 1 (рис. 1.10) закрепляют в токоподводящих зажимах 9, 10, один из которых, например зажим 10, подвижный и соединен с приводом усилия сжатия машины. Детали сжимают и пропускают через них сварочный ток, получая сварное соединение.

### 1.3. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Область применения контактной сварки определяется ее основными достоинствами и недостатками.

#### **Основные достоинства контактной сварки:**

1. Активация за счет расплавления металлов деталей, а их сближение — за счет механической энергии. Это требует расхода электроэнергии на порядок меньше, чем при сварке плавлением соединения, равного по площади контактному соединению.

2. Высокая производительность контактной сварки.

3. Контактная сварка не требует высокой квалификации сварщика.

4. Низкая себестоимость процесса.

5. Легкость автоматизации и механизации.

#### **Недостатки контактной сварки:**

1. Необходимость в высококвалифицированном обслуживающем персонале.

2. Необходимость в специализированном оборудовании, приспособленном к конкретной детали, отсутствие универсальности.

3. Необходимость борьбы с выплесками и мощным электромагнитным излучением.

4. Отсутствие надежных методов неразрушающего контроля.

Область применения контактной сварки чрезвычайно широка — от крупногабаритных строительных конструкций, космических

аппаратов до миниатюрных полупроводниковых устройств и плечных микросхем. По имеющимся данным, в настоящее время около 50% всех сварных соединений выполняют различными способами контактной сварки. Среди механизированных и автоматизированных способов сварки контактная сварка занимает первое место.

Контактной сваркой можно успешно соединять практически все известные конструкционные материалы — низкоуглеродистые и легированные стали, жаропрочные и коррозионно-стойкие сплавы, сплавы на основе алюминия, магния и титана и др.

**Точечная сварка** — наиболее распространенный способ, на долю которого приходится около 80% всех соединений, выполняемых контактной сваркой. Этот способ сварки широко используют в автомобиле- и вагоностроении, строительстве, радиоэлектронике и т. д. Например, в конструкциях современных лайнеров насчитывается несколько миллионов сварных точек, легковых автомобилей — около 5000 точек. Диапазон свариваемых толщин — от нескольких микрон до 10...30 мм. Точечной сваркой соединяются элементы жесткости и крепежные детали с листами, тонкостенными оболочками и панелями.

**Стыковую сварку сопротивлением** используют весьма ограниченно, так как не удается обеспечить равномерный нагрев стыка и получить соединение по всей поверхности контакта из-за трудностей удаления оксидных пленок. Этот способ применяют в основном при соединении проволоки, стержней и труб из низкоуглеродистой стали относительно малых сечений.

**Стыковую сварку оплавлением** успешно используют при соединении трубопроводов, железнодорожных рельсов (бесстыковые пути) в стационарных и полевых условиях, длинномерных заготовок, ободов автомобильных колес, соединений деталей из различных конструкционных сталей и сплавов, латуни и цветных металлов и др. Стыковая сварка оплавлением обеспечивает экономию легированной стали при производстве режущего инструмента. Пример: рабочая часть сверла из инструментальной стали сваривается с хвостовой частью из обычной стали. Доля стыковой сварки, преимущественно сварки оплавлением, составляет около 10% общего объема применения контактной сварки.

**Шовная сварка** по объему применения занимает третье место (около 7%) и используется при изготовлении различных герметичных емкостей, например топливных баков автомобилей и летательных аппаратов, баков стиральных машин, шкафов холодильников, плоских отопительных радиаторов и т. п. Скорость



сварки швов может достигать на отдельных установках 10 м/мин, а плотность соединений обеспечивает высокую надежность работы сварных конструкций в различных условиях — от очень низкого вакуума до весьма больших давлений рабочей среды.

**Рельефная сварка** — наименее распространенный способ контактной сварки (объем применения около 3%), используется для крепления кронштейнов к листовым деталям, например, скобы к капоту автомобиля, петли для навески дверей к кабине и т. д., для соединения крепежных деталей — болтов, гаек и шпилек, крепления проволоки к тонким деталям в радиоэлектронике и др. Рельефная сварка по непрерывным рельефам также дает возможность получать герметичные соединения, в частности крышки с основанием полупроводниковых элементов или интегральных схем.

Наиболее широко контактная сварка применяется в условиях массового производства предметов бытового назначения, автомобилестроении, инструментальном производстве, при прокладке магистральных трубопроводов и др. В этих областях контактная сварка составляет 70...90% всего сварочного производства.

В качестве примеров применения контактной сварки можно привести следующие:

1. Соединение листовых плоских и объемных конструкций внахлестку или встык взамен клепки (корпуса ракет, крылья самолетов, дирижабли, планеры и т. п.). Яркие примеры: пассажирский самолет АН-24 (20 000 точек на клею), лайнеры «Антей» и «Руслан» (несколько миллионов сварных точек).

2. Каркас кузова легковых автомобилей расчленяют на узлы: пол, крышу, боковины и т. п. и соединяют их в единое целое контактной точечной сваркой. В целом кузов автомобиля ВАЗ имеет 4000...20 000 сварных точек при толщине деталей 0,8...2 мм.

## 1.4. КОНТАКТНАЯ СВАРКА В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Началом отечественного автомобилестроения считается 1924 г., когда на Московском заводе АМО был изготовлен первый грузовой автомобиль АМО-ф-5. В 1932 г. уже было изготовлено 15 000 автомобилей АМО-3.

В том же году в строй вступил Горьковский автомобильный завод (ГАЗ). К 1940 г. выпускалось ежегодно 140 тыс. грузовых и 5,5 тыс. легковых автомобилей. Мощность Московского автомобильного завода к 1940 г. достигла 80 тыс. автомобилей в год.

Контактная сварка в автомобилестроении начала применяться после Великой Отечественной войны. Специалистами-сварщиками заводов совместно с сотрудниками ИЭС АН УССР и ВНИИЭСО были разработаны подвесные установки для сварки крупных узлов автомобилей и оснастка к ним — десятки моделей сварочных клещей и пистолетов, высокопроизводительные многоэлектродные машины. В это время стала очевидной необходимость службы наладки и ремонта контактных сварочных машин, сейчас такая служба существует на всех автомобильных заводах в виде отдельного структурного подразделения (на ВАЗе — цех ремонта сварочного оборудования). Специализированные сварочные машины для производства автомобилей проектируются и изготавливаются на самих автомобильных заводах (на ВАЗе — производство технологической оснастки — ПТО).

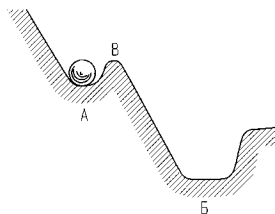
В 1950-е гг. на заводах ЗИЛ и ГАЗ начали применяться многоэлектродные машины для контактной точечной сварки, которые многократно повысили производительность процесса сварки (машины такого типа применяются на ВАЗе и сейчас).

В 1970 г. вступила в строй первая очередь автогиганта — Волжского автомобильного завода (ВАЗ). Его проектная мощность — 660 тыс. автомобилей в год. В настоящее время на ВАЗе доля контактной сварки достигает 85% от общего объема сварки. При этом большая ее часть выполняется на конвейерах и автоматических линиях с применением многоэлектродных машин и промышленных роботов. Степень механизации и автоматизации при этом достигает 95%.

## **1.5. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ**

Как и всякое вещество, металл в зависимости от своего состояния обладает различным количеством химической энергии. Энергия металла в парообразном состоянии выше его энергии в жидком состоянии, а жидкое состояние металла, в свою очередь, энергетически выше твердого. Но в твердом состоянии металла его элементарные кристаллы и кристаллиты (зерна) могут иметь самые различные энергетические уровни. Пластическая деформация и закалка повышают потенциальную энергию металла по сравнению с отожженным состоянием. Все процессы, протекающие самопроизвольно, обязательно идут с потерей энергии и ее общим уменьшением в данной системе. Таковы, например, процессы затвердевания и кристаллизации.

Некоторые процессы, связанные с накоплением энергии, можно приостановить и тем самым накопить, законсервировать часть энергии в системе. В таком состоянии она может находиться длительное время, готовая разрядиться, если дать системе толчок. Наиболее наглядно это можно представить с помощью рис. 1.2. Шар попал в положение *A* и остановился на этом уровне энергии, хотя его самым низким энергетическим состоянием является уровень *B*. В это состояние он придет только в том случае, если получит легкий энергетический толчок, достаточный для преодоления энергетического барьера *B*. Таким толчком может служить подогрев, в результате которого накопленная энергия начнет разряжаться.



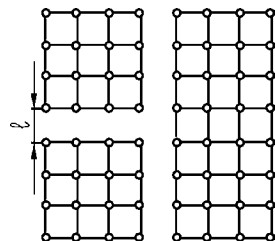
**Рис. 1.2**  
Модель энергетических уровней металлических кристаллов

При сварке происходит процесс принудительного образования межатомных (химических) связей между атомами, принадлежащими разным деталям. Для сварки металлических конструкций характерно возникновение преимущественно металлической формы связи, обусловленной взаимодействием ионов и обобществленных валентных электронов. Металлическая связь образуется при сближении атомов на расстояния, близкие к параметру кристаллической решетки (несколько ангстремов).

### 1.5.1. СОЕДИНЕНИЕ ИДЕАЛЬНО ЧИСТЫХ ТЕЛ

Рассмотрим вначале процесс образования сварного соединения двух тел с совершенно ровными и чистыми поверхностями, а также с одинаковым типом и ориентацией кристаллической решетки (рис. 1.3).

Если расстояние  $l$  значительно превышает параметр решетки, взаимодействия атомов не происходит. При этом силы притяжения  $F_{\text{пр}}$  (вызванные взаимодействием внешних электронов атомов одного тела с ядрами атомов другого тела), а также силы отталкивания  $F_{\text{от}}$  (вызванные взаимодействием электронов поверхностных атомов одного тела с электронами атомов другого тела и ядер атомов обоих тел) близки нулю (см. рис. 1.4).



**Рис. 1.3**  
Схема образования соединения двух тел с идеально чистыми и гладкими поверхностями

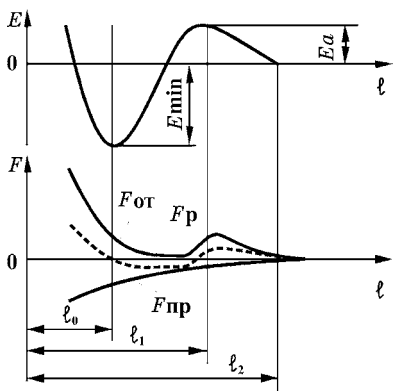


Рис. 1.4  
Изменение потенциальной  
энергии и сил взаимодействия  
при сближении атомов

единение наружных электронных оболочек, т. е. сваривание. Силы отталкивания резко уменьшаются, а силы притяжения возрастают. Энергия системы снижается.

Однако по мере сближения внутренних электронных орбит сила отталкивания вновь увеличивается и на расстоянии  $l < l_0$  становится равной  $F_{\text{пр}}$ . Равнодействующая этих сил  $F_p$  оказывается равной нулю. Энергия системы достигает минимума и соответствует энергии атомов в кристаллической решетке, а расстояние  $l_0$  соответствует минимальному расстоянию между атомами в данной кристаллической решетке. Между поверхностными атомами обоих тел устанавливаются прочные металлические связи. Закачивается процесс сваривания (схватывания). Состояние системы на расстоянии  $l_0$  устойчивое. Дальнейшему сближению атомов препятствует резко возрастающая сила отталкивания (из-за перекрытия внутренних электронных оболочек). Обратному раздвиганию атомов препятствует сила притяжения.

Таким образом, для получения соединения необходимо преодолеть энергетический барьер схватывания, т. е. затратить дополнительную энергию извне, даже при сварке идеальных тел. Эта энергия называется энергией активации  $E_a$ .

Способы введения энергии активации при сварке:

- деформирование тел (механическая активация);
- нагрев тел (термическая активация).

При механической активации прикладывают значительные сжимающие усилия, достаточные для преодоления сил отталкивания.

При сближении атомов на расстоянии  $l_2 < l < l_1$  появляются силы отталкивания  $F_{\text{от}}$ , так как начинается электростатическое взаимодействие электронов, находящихся на наиболее удаленных орбитах. Внутренняя энергия системы двух тел повышается и достигает максимума при  $l = l_1$ . Возникает так называемый энергетический барьер.

Если энергия атомов (или внешняя сила) достаточна для преодоления  $F_{\text{от}}$ , возможно дальнейшее сближение атомов. Тогда на расстоянии  $l_0 < l < l_1$  начинается объ-

При термической активации систему нагревают обычно до температур, близких или равных температуре плавления. Увеличивается потенциальная и кинетическая энергия атомов. Стабильность электронных конфигураций уменьшается. Повышается вероятность объединения электронных оболочек на увеличенных расстояниях.

При контактной сварке часто применяют оба способа активации.

### 1.5.2. СОЕДИНЕНИЕ РЕАЛЬНЫХ ТЕЛ

На поверхности реальных тел находятся слои окислов, адсорбированной влаги и газа. Кроме того, поверхность деталей неровная, она имеет определенный макро- и микрорельеф. Толщина пленок и размеры шероховатости на несколько порядков превышают расстояние  $l_0$  и дополнительно препятствуют образованию металлической связи по всей площади контакта. Поэтому для соединения реальных тел, кроме  $E_a$ , необходимо приложить дополнительную энергию  $E_d$  для устранения неровностей, а также для высвобождения наружных связей поверхностных атомов (т. е. очистки поверхностей от пленок). Обычно на практике  $E_d > E_a$ . Таким образом, можно считать, что для образования соединения реальных тел нужно затратить энергию:

$$E_{\text{общ}} = E_d + E_a.$$

Если неровности и поверхностные пленки удалены, то возможно дальнейшее сближение атомов с преодолением энергетического барьера схватывания и образованием металлической связи. Однако уровень минимальной энергии системы  $E_{\min}$  (на расстоянии  $l_0$ ) в случае сварки реальных тел оказывается выше, чем в случае идеальных тел. Это обусловлено несовпадением ориентировки кристаллической решетки, а иногда ее параметров и даже типа. Соединяемые поверхности заменяются границей соединения с более высокой энергией, чем у атомов внутри неискаженной кристаллической решетки.

### 1.6. СТРУКТУРА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Поскольку соединение при контактной сварке начинается и осуществляется на границе раздела металлов, то для этого способа сварки особенно важно состояние поверхности металла. Контактная сварка определяется двумя основными свойствами металлической поверхности реальных тел: структурой и геометрией.

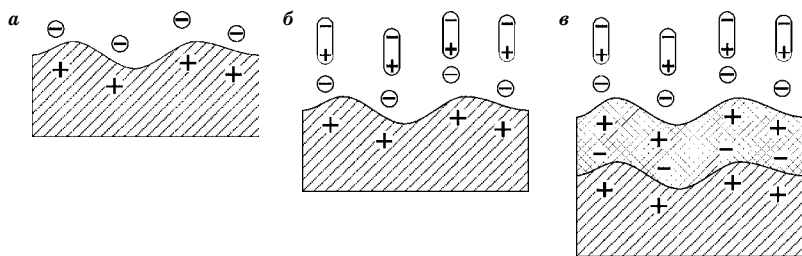


Рис. 1.5

Структура слоев металлической поверхности:

*а* — ювенильная поверхность; *б* — образование первого окисного слоя; *в* — формирование окисной пленки.

При возникновении идеально чистой (ювенильной) металлической поверхности, свободной от оксидных пленок и адсорбированных слоев жидкостных и газовых молекул (при очистке в глубоком вакууме или разрыве металлического образца), над ней в результате электронной эмиссии образуется отрицательно заряженное облако из непрерывно движущихся свободных электронов, покидающих металл и снова возвращающихся в него (рис. 1.5*а*). Такое электронное облако активизирует молекулы кислорода в окружающей атмосфере (рис. 1.5*б*), что приводит к практически мгновенному окислению поверхностного металла и образованию оксидной пленки. Такая оксидная пленка сохраняет электрический потенциал, что приводит к дальнейшей активизации молекул кислорода из окружающей среды, их диффундированию к слою основного металла и образованию новых оксидов (рис. 1.5*в*).

По мере роста окисной пленки электронная эмиссия через нее уменьшается, и толщина оксидов на поверхности металлов стабилизируется. На холодном металле такие окисные пленки имеют сравнительно небольшую толщину (порядка  $3 \cdot 10^{-8}$  м), что делает ее оптически и электрически нейтральной (т. е. не препятствует прохождению света и электрического тока). Однако увеличение температуры его поверхности при различных способах обработки приводит к увеличению толщины оксидного слоя и возникновению цветов побежалости (табл. 1.1).

Кроме оксидных пленок, металлические поверхности всегда покрыты жировыми, газовыми молекулами и парами воды (рис. 1.6, слой *В*). Толщина таких покрытий различна. Например, пленка паров воды составляет 50...100 молекул. Жировые слои получают еще большей толщины. После промывки замасленного металла бензином слой органических молекул составляет 1...5 мкм и даже

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)