**Введение**

Целью данного проекта является разработка технологии сварки корпуса водила II ступени. Конструкция является ответственной, поэтому при ее изготовлении применяются только материалы высокого качества. Необходимо выбрать такой способ сварки и сварочные материалы, которые бы обеспечили требуемые свойства сварного соединения.

**1. Характеристика изделия**

Водило II ступени состоит из пяти стоек, пяти верхних и пяти нижних лепестков, выполненных из титанового сплава ПТ-3В и сваренных между собой электронно-лучевой сваркой на установке ЭЛУ-21.

Применяется для компенсации энергетических установок в атомных подводных лодках и в авиации для передачи момента от быстроходной ступени на центральную шестерню тихоходной ступени.

**2. Анализ вариантов и выбор способа изготовления с учетом особенностей свариваемости данного материала**

**2.1 Характеристика титанового сплава ПТ-3В**

Широкое применении титановых сплавов для сварных конструкций обусловлено важными их преимуществами перед сталями и сплавами на основе алюминия – низкой теплопроводностью и узким интервалом кристаллизации. Указанные преимущества существенно снижают энергетические затраты и способствуют получению однородного по химическому составу металла при сварке. Перспективным для применения считается сплав ПТ-3В.

Сплав ПТ-3В относится к псевдо-α-сплавам, которые содержат α-стабилизаторы (алюминий и кислород) и небольшое количество β-стабилизирующего элемента, в частности, ванадия. Благодаря наличию β-фазы сплавы обладают хорошей технологической пластичностью при сохранении достоинств α-сплавов.

Сплавы этого класса имеют ряд технологических преимуществ: они не чувствительны к скорости охлаждения после сварки, не требуют обязательной термической обработки, имеют малый прирост твердости сварного шва, а значит не склонны к охрупчиванию шва и околошовной зоны.

Сплав ПТ-3В – сплав высокой прочности при температуре 20–250С, обладает высоким сопротивлением разрушению при повышенных (350–5000С) и криогенных температурах.

Сплав хорошо штампуется, гнется, обрабатывается резанием, имеет хорошую свариваемость. Содержание алюминия и кислорода (до 0,15%) повышает прочностные свойства сплавов.

Таблица 1. Химический состав титанового сплава ПТ-3В (ГОСТ 19807–74) ([1], с. 34)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Al | V | C | Fe | Si | Zr | O | N | H |
| 3,5–5 | 1,2–2,5 | 0,1 | - | - | - | 0,15 | 0,04 | 0,008 |

Таблица 2. Механические свойства сплава ПТ-3В ([1], с. 34)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| σВ, МПа | σ0,2, МПа | δ, % | Ψ, % | σ-1, МПа | KCU, Дж/м3 |
| 700–726 | 609–667 | 11 | 18–27,5 | 282 | 0,6–0,7 |

Таблица 3. Физические свойства сплава ПТ-3В([1], с. 34)

|  |  |
| --- | --- |
| Свойства |  |
| Плотность γ, кг/м3  Температура плавления, 0С  Кипения, 0С  Удельное электрическое сопротивление ρ, Ом·м·104  Коэффициент линейного расширения α, 1/0С·106  Коэффициент теплопроводности λ, Вт/м·0С  Удельная теплоемкость Сγ, кал/г·0С  Модуль упругости Е, МПа | 4500  1668  3400  55,6  8,2  16  0,13  1125 |

По сравнению с техническим титаном титановые сплавы имеют при достаточно хорошей пластичности, высокой коррозионной стойкости и малой плотности более высокую прочность при 20–25 0С и повышенных температурах. По сравнению с бериллием они более пластичны и технологичны, меньше стоят, безопасны для здоровья при обработке. По сравнению с алюминиевыми и магниевыми сплавами обладают более высокой удельной прочностью, жаропрочностью и коррозионной стойкостью.

Высокая температура плавления титана требует применения при сварке более концентрированных источников тепла. Однако поскольку титан имеет более низкий коэффициент теплопроводности (ниже, чем у стали в 4 раза) и высокое электрическое сопротивление (выше, чем у стали в 5 раз), для сварки титана тратится меньше электрической энергии, чем для сварки стали.

Низкий модуль упругости (ниже, чем у стали в 2 раза) позволяет выполнять правку сварных изделий при меньших усилиях по сравнению со сталью.

Обязательным условием получения качественного сварного соединения является надежная защита нагреваемого до высоких температур металла от газов атмосферы. Насыщение металла шва кислородом, азотом и водородом происходит при температурах более 3500С, что снижает пластичность металла шва и вызывает образование пор и трещин, как следствие этого происходит снижение прочности сварных конструкций. Поэтому сварку титана необходимо производить в среде защитных газов (аргона или гелия) высокой чистоты, под специальными флюсами или в вакууме. Защитные средства должны обеспечить защиту зоны сварки, ограниченной изотермой более 6000С.

Необходимо также тщательно защищать и обратную сторону шва даже в том случае, если слои металла не расплавлялись, а только нагревались выше этой температуры.

Чувствительность к сварочному термическому циклу выражается в протекании полиморфного превращения α ↔ β, в резком росте размеров зерна β-фазы и перегрева на стадии нагрева, в образовании хрупких фаз при охлаждении и старении, неоднородности свойств сварных соединений, зависящих от химического и фазового состава сплава. Перегрев шва и ОШЗ связан с низкой теплопроводностью титана. Устранить указанные трудности удается за счет снижения погонной энергии для псевдо-α-сплавов.

Низколегированные титановые сплавы с псевдо-α-структурой удовлетворительно свариваются различными способами сварки плавлением, что выражается в стабильном формировании шва, отсутствии трещин и хороших механических свойств сварных соединений.

Для обеспечения высокого уровня пластичности швов и получения швов равнопрочных основному металлу используют присадочные проволоки, отличающиеся от основного металла по химическому составу и имеющие по сравнению с ним пониженное содержание легирующих элементов и вредных газов. При сварке низколегированных титановых сплавов для металла шва характерна игольчатая, мартенситоподобная структура α-фазы. Аналогичную структуру имеет и ЗТВ. Поэтому несмотря на пониженное содержание легирующих элементов в металле шва, его прочность будет близка к прочности основного металла со структурой α-титана.

С целью снятия собственных остаточных напряжений конструкции подвергают отжигу, который приводит к уменьшению остаточных сварочных напряжений и, как следствие, к увеличению сопротивляемости образованию трещин. Нагрев сварных конструкций производится в электрических печах.

При возникновении альфированного слоя (слоя, насыщенного кислородом и азотом) его необходимо убирать механическими способами.

**2.2 Выбор способа сварки**

Титановый сплав ПТ-3В в расплавленном и твердом состоянии при температурах выше 6000С в условиях сварочного цикла обладает высокой химической активностью по отношению к вредным примесям: кислороду, азоту, водороду и углероду, что значительно затрудняет его сварку.

Высокая химическая активность в сочетании с низкой теплопроводностью и высоким электросопротивлением и температурой плавления, а также склонность к росту зерна в околошовной зоне определяют особенности сварки титана и его сплавов. Вследствие высокой химической активности нельзя применять для сварки титана и его сплавов дуговую сварку с использованием флюсов и покрытий, содержащих окислы и другие элементы, загрязняющие шов, кислородно-ацетиленовую сварку, аргонодуговую сварку с односторонней защитой сварного соединения.

Непременным условием для получения качественного соединения при сварке плавлением титана является полная двусторонняя защита сварного соединения от взаимодействия с воздухом и вредными примесями не только сварочной ванны, но и нагретого выше 6000С основного металла и металла шва. Необходимо также тщательно защищать и обратную сторону шва, если она нагревается выше 6000С.

Для обеспечения наилучшей защиты металла шва от внешней среды и обеспечения глубокого проплавления и мелкозернистой структуры применяют электронно-лучевую сварку (ЭЛС). Это обусловлено также высокой температурой плавления титанового сплава, что требует применения при сварке плавлением концентрированных источников тепла. Высокая тепловая концентрация энергии позволяет вести сварку с малой энергоемкостью процесса.

ЭЛС позволяет получать сварные соединения с высоким качеством сварного шва, практически без неустранимых дефектов, обеспечивая полную механизацию сварочного процесса и повышение производительности труда в 15–20 раз по сравнению с ручными дуговыми способами сварки.

Высокое качество сварных соединений из титанового сплава ПТ-3В обеспечивает только ЭЛС. Этот эффективный способ соединения металлов основан на использовании кинетической энергии электронов, движущихся с большой скоростью в вакууме. Являясь разновидностью наиболее распространенного способа сварки плавлением, электронно-лучевая сварка вместе с тем имеет качественные отличия от всех ранее известных методов сварки. Эти отличия обусловлены двумя главными факторами: применением нового мощного концентрированного источника тепла и практически полным отсутствием газов, окружающих зону сварки. Большая концентрация энергии в малом пятне делает возможной сварку с необычным для электронно-дуговых методов соотношением глубины к ширине проплавления (до 20:1 и более), а также при малых значениях погонной энергии (не более 20% от дуговой сварки). ЭЛС выполняется, как правило, в вакуумных камерах при давлении остаточных газов порядка 1·10-3 Па. Такая среда намного чище, чем в аргоне. При сварке в вакууме исключается загрязнение шва газами и обеспечивается максимальная пластичность и вязкость сварных соединений.

Технологический диапазон для целей нагрева, плавления, испарения составляет 104-5·108 Вт/см2. Сварка металлов малых толщин (до 3-х мм) ведется с удельной мощностью 104 Вт/см2, когда испарение с поверхности сварочной ванны незначительно. Однопроходная сварка металлов больших толщин (до 200–300 мм) требует удельной мощности 105-106 Вт/см2. В этом случае проникновение электронного луча на большую глубину сопровождается испарением металла и формированием канала проплавления, на стенках которого рассеивается практически вся мощность электронного луча. Канал проплавления, поверхность которого сильно перегрета, относительно температуры плавления металла и может достигать температуры кипения, движется через толщу металла, образуя по всей глубине канала область расплава металла, которая перемещается в хвостовую часть ванны и там кристаллизуется.

Высокая концентрация энергии в луче позволяет получать при больших скоростях ЭЛС узкие и глубокие сварные швы с минимальной зоной термического влияния и высокими механическими свойствами металла шва и околошовной зоны.

Эффективный КПД ηи изменяется в пределах от 70 до 90% и практически не зависит от энергии первичных электронов; он зависит только от атомного номера обрабатываемого материала; для Ti, например, он равен 0,842.

Как правило, при ЭЛС не нужны присадочные материалы, разделки кромок, а следовательно уменьшается перевод металла в стружку и затраты на механическую обработку. Повышаются качество и механические свойства металла шва за счет дегазации в вакууме и мелкозернистой структуры в металле шва и зоне термического влияния, которая примерно в несколько раз уже, чем при дуговых способах сварки.

Высокая концентрация энергии в луче обеспечивает получение швов не только с минимальной зоной расплавления металла, но и соединений, металл которых в околошовной зоне не претерпевает значительных изменений вследствие ввода минимального количества тепла и значительных скоростей охлаждения. Отсутствие значительной протяженности зоны термического влияния исключает недостатки, возникающие при эксплуатации конструкций, вызванные изменением физико-механических свойств металла в околошовной зоне.

При сварке электронным лучом проплавление имеет форму конуса (рис. 1.). Плавление металла происходит на передней стенке кратера, а расплавляемый металл перемещается по боковым стенкам к задней стенке, где он и кристаллизуется.

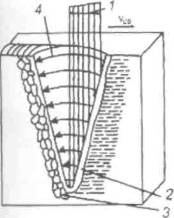


Рис. 1. Схема переноса жидкого металла при электронно-лучевой сварке: 1-электронный луч; 2 – передняя стенка кратера; 3 – зона кристаллизации; 4 – путь движения жидкого металла

Глубокое проплавление металла при малой погонной энергии, имеющее место при сварке электронным лучом, обуславливает значительно большую скорость отвода тепла от зоны сварки, что обеспечивает увеличение скорости кристаллизации малой по объему сварочной ванны с получением мелкозернистого строения металла шва, по своим свойствам мало отличающегося от основного металла. Ввод значительно меньшего количества тепла, имеющего место при ЭЛС, дает возможность во много раз уменьшить деформации изделий по сравнению с дуговым способом сварки.

Электронный луч является легко управляемым источником тепла при сварке, что позволяет в широких пределах и очень точно регулировать температуру нагрева изделия, легко перемещать зону нагрева по изделию и переносить энергию на значительные расстояния.

Установлено, что при использовании вакуума в качестве защитной среды при сварке имеется принципиальная возможность уменьшить содержание газов в некоторых металлах за счет процессов дислокации окислов, нитридов и гибридов. Наиболее легко из металлов удаляется водород, даже в том случае, если он находится в связанном состоянии. Большинство соединений металла с водородом уже при относительно низких температурах нагрева разлагается. Таким образом, в условиях сварки в вакууме большая часть водорода, содержащегося в металле, может быть удалена из металла.

Резко уменьшаются сварочные деформации и напряжения первого рода, что зачастую позволяет изготавливать изделия без правки и дополнительной механической обработки. Появляется возможность местной термической обработки, в том числе и сварных соединений, одновременно со сваркой.

В последнее время в связи с созданием мощных установок для электронно-лучевой сварки расширяется применение сварки электронным лучом для соединения элементов из титановых сплавов толщиной до 300 мм. Сварка толстостенных конструкций электронным лучом является наиболее экономичной по сравнению с любым видом сварки. Скорость сварки электронным лучом для толщин более 100 мм составляет 2, 5–5, 0 м/ч, что превосходит скорость сварки при электрошлаковом процессе более, чем в 5 раз и в 10–15 раз при автоматической многослойной сварке под флюсом. Особенно эффективно применение электронного луча для сварки толстостенных конструкций из титановых сплавов из-за низкой теплопроводности титана, благодаря чему удается получать узкие швы при больших толщинах свариваемых деталей, кроме того, очень благоприятно для титана отсутствие вредных газов при сварке в вакууме.

Исследования ученых показали, что при электронно-лучевой сварке титанового сплава ПТ-3В толщиной до 200 мм структура шва мелкозернистая, зона термического влияния узкая (1–2,5 мм), а статические характеристики при растяжении сварного соединения не ниже соответствующих характеристик основного материала. Соединения, полученные сваркой высококонцентрированными источниками энергии, разрушаются по основному металлу. В псевдо-α-сплавах остаточные напряжения наиболее высоки. Научные исследования также показали, что при ЭЛС образуются соединения с более высоким пределом выносливости, чем при аргонодуговой сварке. При немногочисленных усталостных испытаниях сварных соединений, выполненных электронно-лучевой сваркой, разрушение сварных соединений по основному металлу объясняются высокими напряжениями или перераспределением водорода при сварке, вызывающем охрупчивание металла в зоне разрушения.

**2.3 Описание электронно-лучевой сварки. Общая характеристика**

Электронный луч как технологический инструмент позволяет осуществлять нагрев, плавку и испарение практически всех материалов, сварку и размерную обработку, нанесение покрытий.

Формирование электронного луча и управление им осуществляется рядом специальных устройств, называемых 2 электронными пушками».

Источником электронов в электронных пушках обычно служит термоэмиссионный катод 1, который выполняется из вольфрама, тантала или гексаборида лантана, обладающих высокими эмиссионными характеристиками. В зависимости от материала катода его рабочая температура может достигать 2400–2800 К. Подогрев катода чаще всего осуществляется при помощи накаливаемого электрическим током элемента, причем в некоторых случаях сам этот элемент может выполнять функции катода (катод прямого накала).

На некотором расстоянии от катода находится анод 2, выполненный в виде массивной детали с отверстием по оси. Между катодом и анодом от специального высоковольтного источника питания 3 прикладывается ускоряющее напряжение (30–150 кВ), причем анод обычно соединяется с корпусом установки, а катодный узел крепится на высоковольтном изоляторе. Вследствие разности потенциалов между катодом и анодом электроны ускоряются до значительных скоростей, большая часть их походит через отверстие в аноде и затем продолжает в заанодном пространстве движение по инерции. Этот движущийся электронный поток обладает еще сравнительно невысокими удельными энергетическими показателями и для формирования из него электронного луча с необходимыми характеристиками обычно требуется дополнительная операция – фокусирование луча.

Следует отметить, что в рабочем пространстве электронной пушки необходим вакуум, так как при большом количестве молекул остаточных газов они препятствуют свободному прохождению электронов из-за их взаимных столкновений. Кроме того, условия работы подогревного катода также требуют защиты его от взаимодействия с атмосферными газами. Рабочий вакуум в электронной пушке должен быть не хуже 1·10-3 – 1·10-4 Па. При уменьшении вакуума происходит пробой между катодом и анодом электронной пушки, что может привести к выходу из строя высоковольтного выпрямителя.

Для фокусирования электронного луча в электронной пушке обычно используется система диафрагм и магнитных линз. Магнитная линза 4 представляет собой соленоид с магнитопроводом, создающий специальной формы магнитное поле, которое при взаимодействии с электроном изменяет его траекторию и искривляет ее в направлении к оси системы. При этом можно добиться «сходимости» электронов на достаточно малой площади поверхности и в фокусе электронный луч может обладать весьма высокой плотностью энергии, достигающей 5·106 Вт/мм2. Такая плотность энергии достаточна для осуществления целого ряда технологических процессов, причем в результате изменения фокусировки она может быть плавно изменена до минимальных значений.

В конструкцию электронной пушки обычно входит также «отклоняющая система» 5, служащая для перемещения электронного луча по обрабатываемой поверхности. Перемещение луча осуществляется вследствие его взаимодействия с поперечным магнитным полем, создаваемым отклоняющей системой. Обычно для этой цели электронная пушка имеет две пары отклоняющих катушек, обеспечивающих перемещение луча по двум взаимно перпендикулярным направлениям. При питании отклоняющих катушек током определенной частоты и амплитуды можно получить практически любую траекторию перемещения электронного луча по обрабатываемой поверхности, что широко используется в электронно-лучевой технологии.

Электронная пушка обычно выполняется в виде одного функционального блока, который или неподвижно крепится к вакуумной камере 6, или перемещается внутри камеры при помощи специальных механизмов.

Обрабатываемое изделие 7 помещают в вакуумную камеру, снабженную. Загрузочными крышками и иллюминаторами для наблюдения за процессами обработки. При большой протяженности зоны обработки изделие обычно перемещается или вращается в вакуумной камере при помощи специальных механизмов.

Следует отметить, что по мере увеличения удельной мощности электронного луча наряду с процессами плавления начинается интенсивное испарение металла с поверхности сварочной ванны. Так получаются швы с глубоким проплавлением, которое называется «кинжальным». Оно дает возможность за один проход без разделки кромок сварить детали толщиной до 150 мм.

Преимущества сварки электронным лучом:

1. Высокая концентрация ввода теплоты в изделие, которая выделяется не только на поверхности изделия, но и на некоторой глубине в объеме основного металла. Фокусировкой электронного луча можно получить пятно нагрева диаметром 0,0002… 5 мм, что позволяет за один проход сваривать металлы толщиной от десятых долей миллиметра до 200 мм. В результате можно получить швы, в которых соотношение глубины провара к ширине до 20:1 и более. Появляется возможность сварки тугоплавких металлов (вольфрама, тантала и др.), керамики и т.д. Уменьшение протяженности зоны термического влияния снижает вероятность рекристаллизации основного металла в этой зоне.

2. Малое количество вводимой теплоты. Как правило, для получения равной глубины проплавления при электронно-лучевой сварке требуется вводить теплоты в 4–5 раз меньше, чем при дуговой сварке. В результате резко снижается коробление детали.

3. Отсутствие насыщения расплавленного и нагретого металла газами.

В результате дегазации металла шва повышаются его пластические свойства и достигается высокое качество сварного соединения.

Недостатки электронно-лучевой сварки:

1. Возможность образования несплавлений и полостей в корне шва на металлах с большой теплопроводностью и швах с большим отношением глубины к ширине шва.

2. Для создания вакуума в рабочей камере после загрузки изделия требуется длительное время.

Из всего вышеперечисленного можно сделать **выводы**, что выбор ЭЛС для сварки водила II ступени из титанового сплава ПТ-3В обусловлен следующим:

1. Большими трудностями сварки титановых сплавов, которые заключаются в поглощении расплавленным или нагретым металлом газов, склонностью вследствие этого к порообразованию, склонностью к задержанному разрушению и образованию холодных трещин. Поэтому для получения качественного сварного соединения используют мощные вакуумные установки для ЭЛС с целью предупреждения насыщения металла шва и околошовной зоны газами и загрязнения их примесями, а также регулирование структурных изменений выбором необходимого термического цикла.

2. Высокая температура плавления титанового сплава и необходимость получения сварного соединения с большим проплавлением (145 мм) и малой шириной шва требует применение при сварке плавлением концентрированных источников тепла, позволяющих вести сварку на высоких скоростях и при малой энергоемкости.

3. Сварка проводится в автоматическом режиме. Человек защищен от излучения, он лишь наблюдает и ведет контроль за ходом процесса сварки. Это повышает качество и точность изделия, а также приводит к повышению экологии и уровня культуры производства.

**3. Разработка пооперационной технологии**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № опер. | Наименование операции | Содержание операции и используемое оборудование |
| 005 | Заготовительная | Заготовка элементов водила: 5 стоек, 5 верхних и 5 нижних лепестков |
| 010 | Технический контроль | Контроль внешним осмотром и измерениями. Используется мерительный инструмент (линейка, угольник) |
| 015 | Слесарная (Подготовка для прихватки) | Перед началом сборочно-сварочных работ необходимо очистить детали от загрязнений и обезжирить органическим растворителем. Технология обезжиривания рекомендуется следующая: 1. зачистить околощовную зону на расстоянии 10 мм; 2. протереть детали водила бязью, смоченной в ацетоне и отжатой, места сварки и околошовную зону на расстоянии 20 мм протереть бязью, смоченной в спирте и отжатой |
| 020 | Технический контроль | Проверить качество обезжиривания |
| 025 | Сборочно-сварочная (Под ЭЛС) | Оборудование: сварочный пост ПРС-3М.  1. Установить лепестки (поз. 2) и стойки (поз. 1) на разметочную плиту толщиной 40 мм. Собрать на прихватках детали позиции 1, 2.  2. Прихватить детали позиции 1, 2 в местах стыка ручной аргонодуговой сваркой. Прихватки располагать в диаметрально – противоположных направлениях. Зазор в стыке не более 0,15 мм.  3. Выступление свариваемых кромок не допускается.  4. Установить 10 технологических планок 30х70 и 5 технологических планок 70х40. При установке обеспечить плотное прилегание между планкой и собираемыми деталями. Длина прихваток Lпр=40–50 мм.  Параметры:  Сварочная проволока ПТ-3В Ø2 мм;  Iсв=95 А; U=32 В;  обратная полярность тока;  положение шва – нижнее;  аргон марки А ГОСТ 10157–73;  расход аргона 15 л/мин. |
| 030 | Кантовочная | Оборудование: кран-балка |
| 035 | Сборочно-сварочная | Оборудование: сварочный пост ПРС-3М  1. На разметочной плите собрать вторую секцию из 5-ти лепестков позиции 3.  2. Ручной аргонодуговой сваркой сварить 2 секции. Прихватки располагать в диаметральнопротивоположных направлениях. Зазор в стыке не более 0,15 мм.  3. Выступание свариваемых кромок не допускается.  4. Установить 10 технологических планок 30х70 и 5 технологических планок 70х40. При установке обеспечить плотное прилегание между планкой и собираемыми деталями. |
| 040 | Технический контроль (Контроль сборки под ЭЛС) | Оборудование: набор щупов №2 ТУ2–034–225–87  Проверить зазор в стыке. Допускаемый зазор не более 0.15 мм. Выступание свариваемых кромок не допускается. |
| 045 | Сварочная | Оборудование: установка для ЭЛС ЭЛУ-21, кран-балка  1. Установить водило в приспособление с помощью кран-балки и закрепить.  2. Завести приспособление в вакуумную камеру установки, закрыть ее и создать необходимый вакуум.  3. Выполнить сварные швы электронным лучом, поочередно настраиваясь на каждый стык (шов).  4. Перед сваркой проверить технологический режим на технологическом образце.  5. Развакуумировать камеру, перекантовать водило с помощью кран-балки и повторить п. 1–3 для выполнения сварки швов с другой стороны.  Параметры: глубина проплавления – 145 мм;  Iсв=700 мА; Uуск=60 кВ; Vсв=30 см/мин;  Круговая развертка электронного луча Ø2 мм. |
| 050 | Технический контроль | Контроль качества швов капиллярной дефектоскопией. |
| 055 | Токарно-карусельная | Оборудование: токарно-карусельный станок мод. 1508.  1. Установить заготовку, выверить и закрепить.  2. Расточить плоскость водила, снять усиление сварного шва под УЗД, глубина 4 мм. |
| 060 | Сварочная | Оборудование: сварочный пост ПРС-3М  Подварить отдельные подрезы глубиной 2–3 мм ручной аргонодуговой сваркой. |
| 065 | Слесарная | Оборудование: газовый резак Руа-70  Удаление технологических планок |
| 070 | Технический контроль (УЗК) | Оборудование: УД2–12  Произвести 75%-ный ультразвуковой контроль наклонным пьезопреобразователем |
| 075 | Термическая | Оборудование: термическая печь Н-3005053  Произвести термообработку водила при Т=6750С для снятия сварочных напряжений |
| 080 | Технический контроль размеров | Приспособление: линейка, штангенциркуль.  Проверить геометрические размеры по чертежу на пригодность механической обработки. |

**4. Выбор сварочных материалов и расчет ном их расхода**

Проведем выбор сварочных материалов и расчет норм их расхода для сборочно-сварочной операции, т.е. для ручной аргонодуговой сварки.

1. Защитный газ.

Титан является химически активным материалом и охотно растворяет атмосферные газы (кислород, азот, водород), находясь как в жидком, так и в твердом состоянии. В результате взаимодействия с указанными газами образуются нитриды, оксиды и гидриды. Образование этих соединений сопровождается изменением структуры и пластических свойств. Следовательно, чтобы избежать образования этих соединений и предотвратить ухудшение свойств соединения необходимо обеспечить защиту зоны сварки от атмосферного воздуха.

Углекислый газ СО2 не подходит в качестве защитного, так как он взаимодействует с титаном. Наиболее подходящими для защиты титанового сплава от атмосферного воздуха являются инертные газы (гелий, аргон), поскольку они не вступают во взаимодействие с титаном. Однако, учитывая более высокую стоимость гелия по сравнению с аргоном, в качестве защитного газа будем использовать аргон.

Аргон высшего сорта (чистота ≥99,993%) по ГОСТ 10157–79.

Норма расхода защитного газа на изделие (л) определяется по формуле



,



где - удельная норма расхода газа на 1 м шва данного типоразмера, л;



- длина шва, м; ;



- дополнительный расход газа на подготовительно-заключительные операции: продувку газовых коммуникаций перед началом сварки; защиту вольфрамового электрода от окисления после окончания сварки при сварке неплавящимся электродом, настройку режимов сварки; .



Удельная норма расхода газа определяется по формуле

,



где - оптимальный расход защитного газа по ротаметру, л/мин; ([2], с. 112);



- машинное (основное) время сварки 1 м шва, мин.



Основное время при сварке неплавящимся электродом определяется по формуле



2. Электрод.

Хотя чистый вольфрам относится к группе тугоплавких металлов (Тпл=3300–36000С) и при горении дуги он не расплавляется, однако его применение в качестве электрода ограничивается возможностью его частичного разрушения (выкрашивания) и засорения металла шва частицами вольфрама. Это связано с тем, что эмиссионная способность чистого вольфрама мала и поэтому требуется сильный нагрев для стабильного горения дуги. Для улучшения эмиссии электронов с поверхности вольфрамового электрода в него добавляют окись иттрия Y2О3 или окись лантана Lа2О3, а так же некоторые другие элементы. Добавка окиси иттрия или окиси лантана приводит к понижению температуры стабильного горения дуги, а следовательно способствует повышению стойкости вольфрамового электрода.

В качестве неплавящегося электрода будем использовать вольфрамовый электрод ЭВИ-2 Ø2 мм ГОСТ 23949–80, он содержит 2–3% Y2О3.

Норма расхода () электрода на изделие определяется исходя из длины швов () и удельной нормы расхода электрода на 1 м шва:



Удельная норма расхода рассчитывается по формуле

,



где - расчетная масса наплавленного металла, кг/м;



- коэффициент расхода, учитывающий неизбежные потери электрода, ([2], c. 27);



- плотность наплавленного металла, , ([2], с. 22);



- площадь поперечного сечения наплавленного металла шва,



3. Присадочная проволока.

Для сварки корпуса водила II ступени в связи с ответственностью конструкции будем использовать проволоку того же состава, что и основной металл.

Проволока ПТ-3В по ТУ-1–9–922–82 диаметром 2 мм.

**5. Выбор сварочного оборудования и краткая его характеристика**

**5.1 Описание и техническая характеристика установки ЭЛУ-21**

Исходя из габаритных размеров проектируемого корпуса (длина 1660 мм, наружный диаметр 1198 мм), выбираем установку ЭЛУ-21. Установка для электронно-лучевой сварки ЭЛУ-21 предназначена для сварки плоских и объемных узлов в вакууме (остаточное давление в вакуумной камере 5–8·10-5 мм рт. ст.).

**5.2 Технические данные**

Рабочее размещение сварочной пушки вдоль осей X, Y, Z, мм: 5000×2000×1600

Мощность пушки, кВт: 60

Ускоряющее напряжение, кВ: 60

Рабочее давление в вакуумной камере, мм рт. ст.: 5–8·10-5

Достижение рабочего давления, мин: 25

Скорость сварки кольцевым швом при диаметре больше 100 мм, м/час: 8–60

Скорость перемещения сварочной пушки вдоль и поперек рабочей камеры по вертикали, м/час: 10–80, 5–30

Внутренний размер вакуумной камеры, мм: 7000×3200×3600

Объем вакуумной камеры, м3: 82

Площадь, занимаемая установкой, м2: 23,5×11=258,5

Масса установки, кг: 160000

**5.3 Устройство установки**

Установка питается от трехфазной сети с нулем, ~ 50 Гц, 380 В. Присоединение сети производится через силовую сборку цеха. Установочная мощность установки 110 кВт.

Основной составной частью установки является вакуумная камера, которая предназначена для осуществления процесса электронно-лучевой сварки изделия в вакууме. Камера состоит из трех сварочных секций, герметично соединенных между собой. Между стыками секций проложен замкнутый резиновый вакуумный шнур.

С торцов вакуумная камера герметизируется двумя крышками. На каждой секции имеются смотровые окна.

На левой стороне камеры расположены: площадка оператора, два пульта управления следующими движениями: перемещение крышек камеры, опускание и подъем перекладных направляющих; вакуумметр ВИТ-3.

Площадка оператора имеет возможность продольного и вертикального перемещения от приводов, которые закреплены на них.

С другой стороны вакуумной камеры расположено вакуумное оборудование. Вакуумная станция состоит из трех основных частей:

1. форвакуумный насос НВ3–300 с затворами Ду-260КЭ;

2. вакуумные агрегаты АВ3Д-40/800 УВН с затворами Ду90СП;

3. приборы контроля вакуума, сигнализация состояния агрегатов.

Управление вакуумной станцией может производиться в двух режимах:

1. рабочий (наладочный);

2. автоматический.

На пульте смонтированы также блокировочные вакуумметры типа ВЭМБ-1:

1. высоковольтного источника питания;

2. освещение зоны сварки и наоборот, отключает высоковольтный источник питания, и освещение зоны сварки при недопустимом понижении вакуума в вакуумной камере.

Вакуумная станция состоит из нескольких групп откачки.

Форвакуумная группа состоит из 4-х станций форвакуумных СФ-1, с помощью которых достигается остаточное давление 5–6·10-3 мм р.ст. Два вакуумных агрегата АВП-400/1600, предназначенные для уменьшения остаточного давления до 8·10-5 мм рт. ст., после чего они выключаются. Три вакуумных агрегата АВЭД-40/800 включаются в работу при остаточном давлении в вакуумной камере порядка 10-3 мм рт. ст.

Внутри вакуумной камеры установлена и закреплена станина, на которой имеются направляющие для перемещения каретки для плоских и цилиндрических изделий, а также портала. Электрическое питание к кареткам, пушкам, порталу подводится через цепи энергоподачи, которые также расположены внутри вакуумной камеры.

Крышка камеры предназначена для герметизации вакуумной камеры. Крышка перекрывается из одного крайнего положения в другое от привода крышки. Крышка выполнена из листовой нержавеющей стали с ребрами жесткости. Скорость перемещения крышки V=2 м/мин.

Портал предназначен для крепления и перемещения электронных пушек мощностью 30 и 60 кВт. Пушки перемещаются в трех координатах, а также имеют возможность вращаться в горизонтальном и вертикальном положениях. Портал состоит из 2-х опорных кареток, двух стоек с поперечной балкой, привода перемещения портала, траверсы, каретки траверсы.

Траверса предназначена для крепления и перемещения каретки траверсы. Траверса совершает вертикальное перемещение. Траверса выполнена из сварной балки коробчатой формы из нержавеющей стали.

Каретка траверсы предназначена для возвратно-поступательного перемещения вдоль траверсы пушки, механизма подачи присадочной проволоки от приводного винта, который имеется в траверсе. Каретка состоит из сварного корпуса, на котором закреплены опорные и центрирующие ролики.

Пневмопитание предназначено для подачи сжатого воздуха в один из 4-х воздухораспределителей (4 пневмоцилиндра). Воздушная панель состоит из панели, на которой закреплены вентиль, фильтр, редуктор давления, отстойник и коллектор на 4 воздухораспределителя.

Привод каретки предназначен для перемещения кареток для плоских или цилиндрических изделий в зону сварки или на позиции загрузки-выгрузки.

Каретка цилиндрических изделий предназначена для сварки тел вращения в горизонтальной и вертикальной осях. Каретка состоит из следующих узлов: коробки распределительной, вращателя горизонтального, вращателя вертикального, каретки. Вращатель состоит из электродвигателя типа ПБСТ-33 и редуктора. Вращатель горизонтальный предназначен для закрепления и вращения изделия в горизонтальной плоскости. Вращатель состоит из шпиндельного узла с планшайбой и корпуса. Корпус выполнен из нержавеющей стали. На корпусу крепится три тормоза, на которые должны гасить дисбаланс изделия.

Вращатель вертикальный предназначен для закрепления и вращения свариваемого изделия в вертикальной плоскости. Вращатель состоит из шпиндельного узла и привода.

Люнет предназначен для центровки длинных изделий, которые расположены в горизонтальной плоскости. Люнет состоит из корпуса с направляющими и панели. Длина продольного перемещения люнета 1000 мм. Панель перемещается от ручного привода на величину 200 мм.

Каретка предназначена для крепления всех узлов, входящих в комплекс каретки цилиндрических изделий и привод каретки с помощью которого каретка закатывается в вакуумную камеру или на позицию загрузки-выгрузки. Корпус каретки сварной из нержавеющей стали.

Станина является местом, куда выезжает каретка и производится загрузка-разгрузка кареток. Станина выполнена сварной из стали Ст3.

**5.4 Принцип работы установки**

Сборочно-сварочная оснастка с изделием устанавливается на каретке и крепится к ней. Движение каретки происходит от привода каретки. Энергопитание привод получает от энергоцепи, с которой каретка соединена через кронштейн и штепсельный разъем. На каретке для крепления оснастки с изделием находятся опорные ролики (10 шт.), приводной вал с шестерней, бортовые (центрирующие) ролики (4 шт.), ложементы для крепления оснастки, линейка (база) для выставления свариваемого стыка в плоскости сварки, кронштейн для нажатия на конечный выключатель ВК-200Б в конце хода тележки, которая представляет собой сварную конструкцию из листовой нержавеющей стали Х18Н10Т. Каретка цилиндрических изделий предназначена для сварки тел вращения в горизонтальной и вертикальной осях. Она состоит из распределительной коробки и горизонтального и вертикального вращателей.

С пульта управления №1, расположенного с правой рабочей части вакуумной камеры, дается команда на опускание перекидных направляющих в горизонтальное положение (вакуумная камера открыта) до упора на раму камеры.

От кнопки пульта №1 дается команда на перемещение каретки с изделием в вакуумную камеру на позицию сварки. После – остановка каретки в вакуумной камере от срабатывания конечных выключателей ВК-200Б.

С пульта управления №1 дается команда на подъем перекидных направляющих в вертикальное исходное положение. При верхнем положении перекидных направляющих с пульта №1 дается команда на привод крышки вакуумной камеры. Крышка перемещается в крайнее положение «Закрыто» и останавливается. С пульта №1 дается команда на прижим крышки вакуумной камеры к торцу вакуумной камеры.

Закрывается электромагнитный натекатель ДУ-160. Включается автоматическая система откачки вакуумной камеры до остаточного давления 5·10-5 мм рт. ст. При остаточном давлении 5·10-5 мм рт. ст. производится вывод электронной пушки на позицию сварки. На холостом режиме производится контрольный проход электронным лучом вдоль свариваемого стыка. После контрольного прохода производится сварка стыка.

Визуальное наблюдение и управление процессом сварки производится с пультов, расположенных на площадке оператора, а также через смотровые окна крышки вакуумной камеры диаметром 300 мм. Площадка оператора имеет возможность продольного и вертикального перемещения по лицевой стороне камеры.

После окончания процесса сварки с пульта вакуумной станции дается команда на закрывание шиберных затворов СПЛП-900 и открывается натекатель ДУ-160. Производится напуск воздуха в вакуумную камеру до атмосферного давления.

С пульта №1 дается команда на открывание вакуумной камеры. Затем дается команда на опускание перекидных направляющих станины в вакуумную камеру и команда на выезд каретки с изделием из камеры. В крайнем исходном положении на станине каретка останавливается от конечного выключателя ВК-200Б.

Производится снятие изделия с каретки. Цикл сварки для плоских изделий повторяется снова.

При сварке цилиндрических изделий порядок работы такой же, как и при сварке плоских изделий.

Свариваемое изделие закрепляется на каретке цилиндрических изделий. Управление движением каретки, опусканием направляющих и управление движением второй крышки вакуумной камеры руководится со второго пульта №2, расположенного с левой лицевой стороны вакуумной камеры.

**5.5. Принцип действия приспособления для сварки водила II ступени**

Перед установкой изделия на приспособлении отвинчивается болт позиции 27, снимается планка позиции 15, отодвигается подвижная стойка позиции 2.

На оправку позиции 1 с помощью кран-балки одевается водило II ступени, собранное на прихватках. С одной стороны оно крепится, упираясь на цилиндрическое кольцо, и прижимается восьмью болтами (позиции 29) для обеспечения точного фиксирования и избежания отклонений от вертикальности боковых торцев детали. С другой стороны, водило фиксируется с помощью насадки на коническое кольцо оправки.

Затем снова на хвостовую часть оправки одевается подвижная опора позиции 2 и планка позиции 15, которая привинчивается четырьмя болтами (позиции 27).

Для сварки водила II ступени необходимо поочередно настраивать электронную пушку на каждый стык внутри вакуумной камеры. Это обеспечивается соединением оправки позиции 1 через планку позиции 15, втулку позиции 8 и поводок позиции 4, соединенных с помощью двух болтов позиции 26 и гаек позиции 31 с поворачивающей системой звездочка – редуктор – электродвигатель. При этом оправка с изделием поворачивается при помощи роликов, расположенных в подвижных опорах позиции 2.

**6. Выбор параметров режима сварки**

**6.1 Параметры режима ручной аргонодуговой сварки.**

Сила сварочного тока – Iсв=95 А

Напряжение на дуге – Uд=32 В

Обратная полярность тока

Положение шва – нижнее

**6.2 Параметры режима электронно-лучевой сварки**

Мощность – 30 кВт

Ускоряющее напряжение – Uуск=60 кВ

Сила сварочного тока – Iсв=700 мА

Скорость сварки – Vсв=30 см/мин

Круговая развертка электронного луча – Ø2 мм

**7. Расчет норм времени на сварочные операции**

**7.1 Расчет норм времени для сборочно-сварочной операции** (ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом)

1. Расчет основного времени

,



где - скорость сварки,



2. Расчет вспомогательного времени, зависящего от дины шва

Принимаем ([3], с. 130) нормы времени на все элементы вспомогательной работы при сварке стыкового шва

на шва



3. Расчет вспомогательного времени, связанного с изделием и работой оборудования



Всего норма вспомогательного времени составит



4. Расчет подготовительно-заключительного времени



5. Определение коэффициента к оперативному времени. Для единичного производства коэффициент, учитывающий затраты времени на обслуживание рабочего места, на отдых и естественные надобности, будет ([3], с. 137)



6. Определение нормы штучного времени.



**7.2 Расчет норм времени для электронно-лучевой сварки**

1. Скорость сварки



Длина шва



Время сварки одного шва



2. Общее время сварки



3. Время на вакуумирование



4. Общее время изготовления корпуса водила II ступени



**8. Выбор метода контроля**

**8.1 Характеристика характерных дефектов**

Для сварных соединений всех титановых сплавов в той или иной степени характерны две проблемы: замедленное разрушение и пористость шва.

Замедленное разрушение объясняется образованием в сварном соединении так называемых пиков концентрации водорода, которые совпадают с пиками концентрации сварочных напряжений, расположенными вблизи линии сплавления.

Со временем водород превращается в гидриды с увеличением объема, что способствует образованию трещин в околошовной зоне, вызывая замедленное разрушение. Негативное влияние водорода усиливается остаточными сварочными напряжениями.

Основными мерами борьбы с замедленным разрушением сварных соединений титановых сплавов являются уменьшение содержания водорода в основном металле и отжиг после сварки.

При электронно-лучевой сварке можно, не вынимая изделия из камеры, выполнить так называемый локальный отжиг, прогревая зону термического влияния пучком, сканирующим по растровой развертке. Это снижает концентрацию водорода, перераспределяет остаточные напряжения и уменьшает склонность сварного соединения к замедленному разрушению.

Наиболее распространенными дефектами для сплава ПТ-3В являются поры и холодные трещины.

Поры в сварном шве – это дефекты сварного шва в виде полости округлой формы, заполненной газом. Поры в сварных соединениях чаще всего располагаются в виде цепочки пор по зоне сплавления. Они снижают статическую и динамическую прочность соединений.

В отношении пористости при сварке титановых сплавов существуют две основные точки зрения.

Согласно первой, пористость определяется поступлением в сварочную ванну готовых газовых зародышей, возникших вследствие пиролиза загрязнений и разложения влаги на плотно сжатых поверхностях стыка. Те, кто придерживается этой точки зрения, рекомендуют уменьшать шероховатость кромок путем шабрения и полирования, использовать травление и «тепловую» очистку кромок, а также применять гарантированный зазор в стыке и выполнять газоотводящие каналы на торцевых поверхностях стыка.

Согласно второй точке зрения, непременным условием пористости является перенасыщение металла всей сварочной ванны газами, и в первую очередь водородом, или локальное перенасыщение жидкого металла ванны непосредственно меняя растворимость водорода в металле.

С этой позиции основными способами борьбы с пористостью можно считать снижение концентрации водорода в сварной ванне и обеспечение оптимальных условий кристаллизации, а в качестве технологических мер уменьшения пористости в швах рекомендуются изменение погонной энергии, применение повторных проходов, использование импульсных режимов и осцилляции пучка.

Для получения беспористых швов необходимо обеспечить требуемую чистоту основного металла и сварочных материалов, сварку выполнять на оптимальных режимах с соблюдением всех требований технологических процессов.



Холодные трещины возникают в результате повышенного содержания кислорода, азота и водорода в сварном соединении в сочетании с растягивающими напряжениями первого рода (остаточными сварочными от внешней нагрузки).

Трещины такого типа могут возникать сразу же после сварки, а также после вылеживания сварных соединений до нескольких лет (процесс замедленного разрушения в результате выпадения гидридов титана).

При повышенном содержании водорода трещины возникают от напряжений второго рода и распространяются под действием напряжений первого рода.

Радикальными мерами борьбы с холодными трещинами являются:

1. Снижение содержания газов в основном и присадочном металле: Н2<0,008%, О2<0,1–0,15%, N2<0,04%;
2. Соблюдение технологии сварки для предотвращения попадания паров воды и вредных газов в зону сварки;
3. Снятие остаточных сварочных напряжений;
4. Предотвращение наводораживания металла в процессе изготовления деталей.

Основные виды дефектов, встречающиеся при ЭЛС титановых сплавов приведены на рис. 3, а причины их возникновения в таблице 4.

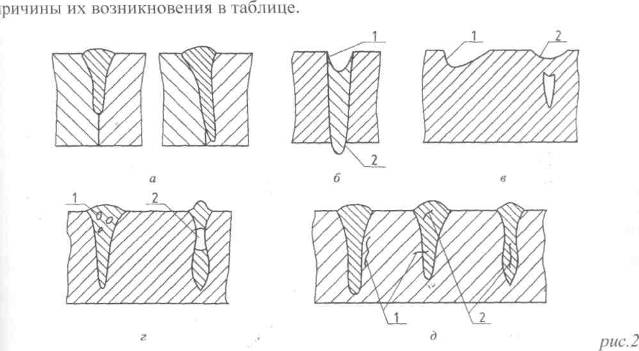


Таблица 4

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование дефекта | Причины возникновения дефекта |
| Непровар (рис. 3, а) | 1. Недостаточная мощность луча  2. Погрешность совмещения луча с плоскостью стыка  3. Намагничиваемость детали |
| Неполномерность (1) и провисание (2) (рис. 3, б) | 1. Завышена мощность луча  2. Занижена скорость сварки  3. Металлургическая нестабильность ванны |
| Кратер в месте окончания шва (1) и высоковольтного пробоя (2) (рис. 3, в) | 1. Резкое изменение мощности и плоскости луча (пробой, аварийное отклонение)  2. Выброс металла ванны в результате металлургической нестабильности ванны |
| Поры (1) и раковины (2) (рис. 3, г) | 1. Плохая очистка свариваемой поверхности от влаги и органических загрязнений.  2. Высокая газонасыщенность металла  3. Высокая скорость сварки  4. Неблагоприятная форма шва |
| Трещины в шве (1) и околошовной зоне (2) (рис. 3, д) | 1. Малая деформационная способность металла в температурном интервале хрупкости  2. Неправильно подобранный режим по погонной энергии и току фокусировки  3. Нетехнологичность конструкционного узла  4. Большие внутренние напряжения |

**8.2 Способы устранения дефектов при ЭЛС**

Большинство поверхностных дефектов, возникающих при ЭЛС, могут быть исправлены дуговыми способами сварки. Иногда и внутренние дефекты шва исправляются выборкой дефектного места механическими способами и последующей их дуговой подваркой с присадочным материалом.

Однако в ряде случаев, особенно при ЭЛС тугоплавких и химически активных металлов, возникшие дефекты целесообразно устранять с помощью электронного пучка.

Поверхностные дефекты целесообразно устранять повторными так называемыми косметическими проходами. Они осуществляются на минимально необходимую глубину на мягких режимах, т.е. с большими степенями недофокусировки или перефокусировки, когда швы не имеют корневой пилы (рис. 4).

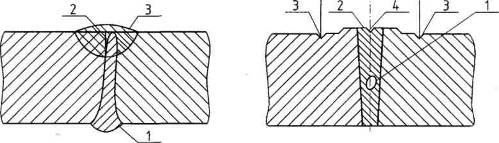


Рис. 4. Заварка поверхностного дефекта

1-основной проход;

2-непровар

3-подварочный проход

Рис. 5. Схема разметки центра шва по контрольным рискам

1-дефект шва;

2 – технологический припуск;

3-контрольные риски

4-риска разметки центра шва

Часть внутренних дефектов исправляют на рабочем режиме. Для этого линию стыка определяют, ориентируясь на контрольные риски (рис. 5) или какие-то базы не самой детали.

Можно переплавлять не всю длину шва, если дефект точечный, а лишь небольшой участок.

Если глубина дефекта небольшая, то заварку осуществляют на больших степенях расфокусировки исключающих образование корневой пилы.

При большой глубине залегания дефектов повторный проход осуществляют на полной мощности с установкой технологических подкладок для выведения в неё корневых дефектов. Ввод мощности осуществляют либо при неподвижном луче, либо при малой скорости, потом включают рабочую скорость. Аналогичным образом поступают и при окончании: сначала необходимо остановить движение или снизить скорость сварки, а потом уменьшать мощность пучка.

В место окончания подварки можно ввести дополнительный материал в виде пластины (рис. 6), а после окончания подварки расплавить его, чтобы заполнить кратер.

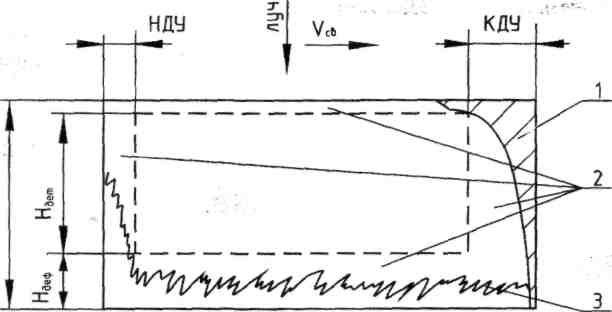


Рис. 6. Устранение дефектов повторной переваркой шва на всю глубину

1-деталь; 2-технологическая подкладка; 3-дефекты подлежащие исправлению; 4-подварочный проход; 5-накладка в место окончания подварки

**8.3 Выбор методов контроля качества сварного соединения**

После выполнения сварочных работ необходимо проконтролировать качество полученного сварного соединения. В контроль сварного соединения входят:

– входной контроль;

– контроль внешним осмотром;

– цветная капиллярная дефектоскопия;

– ультразвуковая дефектоскопия;

– испытания на твердость.

**Входной контроль.**

Входной контроль исходных материалов.

Качество сварки можно обеспечить при условии, если качество исходных материалов (основного металла, электродов, сварочной проволоки, защитного газа и т.п.) удовлетворяет предъявляемым к ним требованиям. Прежде всего, устанавливают соответствие сертификатных данных на все исходные материалы данным, требуемым согласно технологическому процессу сварки конструкций. Затем осматривают материалы и дополнительно проверяют их качество в соответствии с нормативной документацией.

Основной металл в виде литых заготовок проверяют на наличие пор, усадочных раковин и трещин. Особое внимание обращают на зоны, подлежащие сварке. Эти места должны быть тщательно очищены от грязи, масла, краски, ржавчины и других загрязнений. Прокат проверяют на наличие расслоений, окалины, равномерности толщины листа и на равномерность распределения примесей, особенно серы, по сечению листов и профилей.

Электроды проверяют на равномерность толщины покрытия, на наличие в нем трещин и других механических повреждений, а также наличие или отсутствие коррозии стрежня. Выполняют пробную сварку, чтобы установить характер плавления электродного стержня и покрытия, легкость отделения шлаковой корки и качество формирования сварного шва (жидкотекучесть расплавленного металла, разбрызгивание и наличие внешних дефектов.) образование козырька и пр.

Сварочную проволоку проверяют на чистоту поверхностей от окислов, смазки и загрязнений, расслоений и закатов. При соответствии свойств проволоки сертификату и требованиям стандартов, имеющиеся загрязнения (кроме окислов) могут быть очищены механическим или химическим способами. За последние годы увеличивается поставка проволоки с покрытием из меди. Оно исключает образование ржавчины и способствует получению качественных сварных швов.

Защитные газ – аргон при наличии сертификатов завода-изготовителя подвергают контролю только в том случае, если в сварных швах, выполненных с его использованием, обнаруживают недопустимые дефекты. Тогда

проверяют газ на наличие или отсутствие вредных примесей и влаги. Последнюю проверяют по температуре точки росы.

Свариваемость – свойство металла (или сочетание металлов) образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и условиями эксплуатации изделия.

Проверка исходного материала на свариваемость должна предшествовать принятию решения об использовании тех или иных материалов в сварной конструкции. В соответствии с указанным, свариваемость контролируют в двух случаях:

1. При выборе материалов и разработке технологам сварки, т.е. при подготовке производства на стадии проекта;

2. При запуске материалов в производственный цикл, т.е. при технологической подготовке производства.

Вторая проверка связана с возможными отклонениями плавок основного металла, проволоки, а также партий электродов и флюсов от сертификатных значений.

Контроль оборудования и оснастки.

Качество сварных соединений в большей степени зависит от исправной работы сварочного оборудования. Цель и назначение данного вида контроля – обеспечить поддержание сварочного оборудования в рабочем состоянии в соответствии с паспортными данными. Оборудование для дуговой сварки должно обеспечивать устойчивое горение дуги, требуемую точность и правильность регулировки режима сварки (Iсв, Uд, Vп и т.д.). Эти параметры подлежат тщательной проверке каждый раз перед пуском оборудования и в процессе производства.

Используемые в производстве приборы (амперметры, вольтметры и т.д.), установленные на сварочных машинах или рабочих местах, инструмент периодически подвергаются метрологическому надзору и при необходимости ремонту. Контролю подвергаются также электрическая аппаратура и механизмы передвижения и др.

В значительной мере качество сварного соединения зависит от качества используемой специальной оснастки и приспособлений. Сборочные приспособления должны обеспечивать требуемую прочность и жесткость, точное, быстрое и надежное закрепление элементов сварной конструкции, необходимую степень точности всех размеров свариваемой детали, узла, изделия; установку свариваемого объекта в положение, удобное для сварки, и д.р.

Эти требования должны быть отражены в технических условиях – на проектирование и изготовление приспособлений.

В процессе производства состояние приспособлений контролируют систематически и в сроки, установленные в зависимости от характера производства и выпускаемой продукции.

Контроль технологии.

Большое значение для обеспечения качества выпускаемой продукции имеет контроль в процессе производства. Внимательное и непрерывное наблюдение за состоянием оборудования, аппаратуры, приспособлений, приборов и инструментов, а также за ходом выполнения сварочных операций каждым сварщиком позволяет своевременно обнаружить дефекты сварки и принять меры по устранению причин их образования. Контроль технологии изготовления сварных изделий включает проверку подготовленных к сварке заготовок, исправности сварочных приспособлений, сборки изделий под сварку, состояния сварочных материалов, сварочного оборудования и соблюдения установленных режимов сварки. У подготовленных к сварке заготовок проверяют форму, размеры и геометрию разделки кромок, а также отсутствие на их поверхностях загрязнений, ржавчины, влаги.

У сварочных приспособлений контролируют исправность зажимных устройств, пригодность установочных поверхностей, а также флюсовых, медных и угольных подкладок и теплоотводящих элементов. Режимы сварки контролируют в первую очередь по току, напряжению и скорости в установленных пределах. Контроль ведут визуально по приборам и по внешнему виду сварного шва. При изготовлении ответственных конструкций и при серийном производстве ведут непрерывную запись параметров режима с помощью самопишущих приборов.

Контроль заготовки и сборки.

Внешнему осмотру подвергают свариваемые материалы для выявления вмятин, заусенцев, окалины, ржавчины, окислов и т.д.

Проверяют качество подготовки кромок под сварку и сборку заготовок. К основным контролируемым размерам собранных под сварку деталей относят зазор между кромками и притупление кромок – для стыковых соединений без разделки кромок, притупление кромок и угол их разделки – для соединений с разделкой кромок. Для измерения и проверки, указанных выше параметров применяют специальные шаблоны или универсальный инструмент. Детали, узлы или изделия, собранные под сварку с отклонением от технических условий или установленного технологического процесса, бракуют. Средства, порядок методы контроля предусматриваются технологическим процессом производства.

**Контроль внешним осмотром**

Внешним осмотром невооруженным глазом или с помощью лупы выявляют прежде всего дефекты швов в виде трещин, подрезов, свищей, прожогов, наплывов, непроваров в нижней части швов. Многие из этих дефектов, как правило, недопустимы и подлежат исправлению. При осмотре выявляют дефекты формы швов, распределение чешуек и общий характер распределения металла в усилении шва.

Сварные швы часто сравнивают по внешнему виду со специальными эталонами. Геометрические параметры швов измеряют с помощью шаблонов и измерительных инструментов.

Только после внешнего осмотра изделие подвергают каким-либо физическим методам контроля для определения внутренних дефектов. Тщательный внешний осмотр – обычно весьма простая операция – может, тем не менее, служить высокоэффективным средством предупреждения и обнаружения дефектов.

**Цветная капиллярная дефектоскопия**

Капиллярный метод контроля проникающими веществами позволяет выявлять внутренние дефекты, выходящие на поверхность. Он заключается в том, что на поверхность изделия наносят индикаторную жидкость – пенетрант, который имеет характерный цветовой фон.

После очистки поверхности от пенетранта наносят проявитель, который вытягивает его из полости дефекта. На поверхности изделия появляется рисунок шириной 0,05–0,3 мм, который виден невооруженным глазом или при помощи лупы с небольшим увеличением.

Для контроля используем цветную дефектоскопию, при которой проникающая жидкость (пенетрант) образует на белом фоне проявителя красный индикаторный рисунок. Красный цвет вследствие особенностей восприятия глазом человека обеспечивает большую вероятность обнаружения индикаторных рисунков, имеет высокую контрастность и легко позволяет отличить микротрещины от рисок и заусенец.

Перед капиллярным контролем необходимо удалить с поверхности изделия лакокрасочные, силикатные и др. покрытия, так как их дефекты могут нести ложную информацию о дефектах сварного соединения. Также обязательно удаляются окисные пленки и жидкие загрязнения, которые заполняют полость дефекта и оказывают разбавляющее действие на индикаторную жидкость, что может изменить и ее свойства. Значение размеров выявляемых дефектов зависят от класса чувствительности и приведены в таблице 4.

Таблица 5

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Класс чувствительности | Ширина, мкм | Глубина, мкм | Протяженность, мм |
| II | до 10 | до 100 | до 1 |

Технология капиллярной дефектоскопии.

1. Подготовка детали к контролю.

Сводится к промывке детали. Промывку осуществляют водой. Водой удаляют остатки моющих водных средств, механические нерастворимые загрязнения.

Деталь промывают по несколько раз горячей и холодной водой, затем ее высушивают.

2. Заполнение полости дефектов пенетрантом.

Осуществляют капиллярным способом. Пенетрант наносят на контролируемую поверхность и выдерживают в течение определенного времени. Время проникновения зависит от характера дефекта (сквозной или тупиковый).

Для ускорения процесса пропитки деталь могут подогревать При подогреве уменьшается вязкость и поверхностное натяжение жидкости, улучшается смачиваемость.

3. Удаление пенетранта с поверхности изделия.

Осуществляется промывкой водой или очищающей жидкостью и последующей протиркой или сушкой.

4. Нанесение проявителя.

Оптимальная толщина слоя проявителя составляет 1 – 15 мм.

Используем механическое распыление проявителя, которое производится струей воздуха или инертного газа. Этот метод обеспечивает высокую чувствительность за счет равномерного слоя проявителя, но связан с большими потерями проявителя до 30–40%.

5. Проявление дефектов.

Осуществляется самым рациональным – тепловым методом. Изделие обдувают струей теплого воздуха с температурой 70–800С.

6. Осмотр изделия и анализ индикаторных следов дефектов.

Осмотр изделия производят в 3 этапа:

1. Визуальный осмотр изделия для оценки качества нанесения проявителя;
2. Общий осмотр поверхности изделия для обнаружения рисунка дефекта;
3. Анализ индикаторных рисунков выявляемых дефектов.

Убедившись, что проявитель нанесен качественно, производят общий осмотр поверхности изделия невооруженным глазом или с помощью лупы двукратного увеличения. Эта операция выполняется через 3–5 мин после нанесения проявителя, а через 20–25 мин проявляются следы мелких дефектов и ведется анализ индикаторных рисунков в полной мере.

Полный осмотр предполагает изучение месторасположения рисунка, цвет, яркость, направление рисунка. Необходимо отличать истинные дефекты от ложных.

7. Удаление дефектоскопических материалов.

Осуществляется протиркой ветошью с применением воды.

Пенетрант: керосин – 80%, масло трансформаторное – 15%, скипидар – 5%, краситель 5С – 10г/л.

Очищающая жидкость: ОЖ-3.

Проявитель: каолин 600–700 г. на 1 л воды.

Метод проявления – суспензионный.

Класс чувствительности – II.

**Ультразвуковая дефектоскопия**

Ультразвуковой контроль основан на исследовании процесса распространения упругих колебаний с частотой 0,5–25 МГц в контролируемом изделии.

Для УЗК используем импульсный эхо-метод с использованием дефектоскопа УД2–12. Метод основан на регистрации эхо-сигнала от дефекта. На экране индикатора виден посланный зондирующий импульс I, отраженный от противоположной поверхности донный сигнал III, эхо-сигнал от дефекта II.

Время прихода сигнала II и III пропорционально глубине залегания дефекта и толщине контролируемого изделия. Для контроля используем наклонный (призматический) пьезопреобразователь.

Преимущества метода:

1. Высокая чувствительность;
2. Односторонний доступ к изделию;
3. Незначительная площадь механического контакта.

Недостатки метода:

1. Низкая помехоустойчивость к наружным отражателям
2. Резкое изменение амплитуды сигнала от ориентации дефекта;

Предельная чувствительность метода 0,1 мм2 для плоских дефектов и 0,9 мм2 для объемных дефектов. Применяют при контроле изделий толщиной от 4 до 2000 мм.

Поиск дефектов производится путем поперечно-продольного сканирования всей поверхности контролируемой зоны. В процессе перемещения пьезопреобразователь необходимо поворачивать вокруг своей оси на 10–150, чтобы обнаружить различно ориентированные дефекты. Акустический контакт обеспечивается легким нажатием руки на пьезопреобразователь с усилием Р=15 Н.

Используем контроль прямым и однократно отраженным лучом, который осуществляется перемещением пьезопреобразователь между точками 1 и 3 (рис. 2), что позволяет прозвучивать мертвую зону. Пьезопреобразователь перемещают по поверхности изделия от оси шва:

,



где - служит для направленного отражения основной части ультразвукового пучка в контролируемую область шва. Контроль ведется с одной стороны.



Определим величину угла ввода при прозвучивании однократно отраженным лучом по формуле:



,



где - ширина шва, ;



- толщина контролируемого объекта, ;



- расстояние, служащее для направленного отражения основной части ультразвукового пучка в контролируемую область шва,



Определим и для титанового сплава ПТ-3В



- скорость продольной волны в плексигласе



- скорость продольной волны в титановом сплаве ПТ-3В



- скорость поперечной волны в титановом сплаве ПТ-3В



Определим угол ввода луча ультразвука при использовании пьезопреобразователя с углом призмы 300 по формуле



Определим, на какое расстояние перемещается пьезопреобразователь по поверхности изделия от оси шва



**Испытания на твердость**

Испытания на твердость производятся по ПК 796–65.

Твердость измеряют не менее, чем на пяти точках для каждого участка сварного соединения. Общий результат определяют как среднеарифметическое всех результатов. В протоколе испытания указывают тип образца, температуру испытания и наличие дефектов в изломе образца.

Сваривают электронно-лучевой сваркой пробные образцы из титанового сплава ПТ-3В и по макрошлифам измеряют в нескольких точках шва и околошовной зоны твердость (рис.), в нашем случае по Бринеллю.

**9. Расчет на прочность**

Момент сечения инерции относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести сечения



Момент сопротивления



Наибольший изгибающий момент по середине оси

,



где - вес изделия



Максимальное напряжение изгиба



**Список использованной литературы**

1. Китаев А.М., Китаев Я.А. Справочная книга сварщика. – М.: Машиностроение, 1985.

2. Юрьев В.П. Справочное пособие по нормированию материалов и электроэнергии для сварочной техники. М., «Машиностроение», 1972.

3. Гитлевич А.Д., Животинский Л.А., Жмакин Д.Ф. Техническое нормирование технологических процессов в сварочных цехах. Москва, 1962.

4. Акулов В.И. Сварка в машиностроении. Справочник в 4-х томах. М., Машиностроение, 1978.

5. Волченко В.Н. Сварка и свариваемые материалы. Справочник в 3-х томах. М., Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.

6. Моисеев В.Н. Сварные соединения титановых сплавов. М., Металлургия, 1979.

7. Волченко В.Н. Контроль качества сварки. М., Машиностроение, 1975.

8. Севбо П.И. Конструирование и расчет механического сварочного оборудования. – Киев, наук. думка, 1978.