

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Анализ состояния по наплавке высоколегированных сталей на углеродистые	6
1.1 Применение наплавки в промышленности	6
1.2 Анализ свойств используемых металлов в промышленности	13
1.3 Обзор характеристик углеродистой и высоколегированной стали	17
1.3.1 Основные характеристики стали 30	17
1.3.2 Основные характеристики стали 08X18H10T	19
1.4 Особенности наплавки высоколегированных сталей на углеродистые	21
1.5 Обзор известных решений изготовления деталей с наплавленным покрытием	30
1.6 Общие выводы и формулировка задач	33
2 Технологические особенности наплавки	35
2.1 Анализ способов наплавки	35
2.2 Анализ и выбор электродов для наплавки	46
2.3 Обзор и выбор источника питания для наплавки	51
3 Методика проведения исследования	59
3.1 Подготовка поверхности основного металла к наплавке	59
3.2 Подготовка к наплавке вспомогательных материалов	60
3.3 Сборка детали под наплавку	61
3.4 Наплавка	62
3.5 Контроль качества наплавленного материала	64
3.6 Исследование наплавки	64
4 Результаты исследования	66
4.1 Визуальный контроль выполненной наплавки и его результаты	67
4.2 Подготовка образцов для макроструктурного анализа	71
4.3 Проведение макроструктурного анализа и его результаты	72
4.4 Общие выводы по результатам исследований	82

5 Способ изготовления детали с наплавленным покрытием.....	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	87
ПРИЛОЖЕНИЕ А	91

ВВЕДЕНИЕ

Технологическое и вспомогательное оборудование в различных отраслях промышленности, детали машин в процессе эксплуатации постоянно подвергаются поверхностному разрушению с изменением геометрических форм и свойств поверхностных слоев деталей, вследствие истирания, изнашивания, воздействию ударных нагрузок, кавитации эрозии и т. д.

Так для восстановления изношенных деталей и повышения эксплуатационных характеристик, тем самым увеличивая долговечность детали, применяют разные способы и методы поверхностного упрочнения, одним из которых является наплавка, нашедшая большое применение в современной промышленности.

Наплавка - это создание слоя металла посредством сварки плавлением на поверхности заготовки или изделия с заданными свойствами [1].

Наплавкой можно создавать биметаллические (разнородные) изделия, с необходимой конструкционной прочностью и низкой себестоимостью, которые в свою очередь будут сочетаться с большой долговечностью в условиях эксплуатации. На рабочей поверхности изделия получают слой металла, обладающий особыми свойствами - жаростойкостью, коррозионную стойкость, износостойкость, термостойкость и т.д [2].

Детали, изготовленные из биметаллических материалов, получают широкое применение в нефтегазодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. Например, для обеспечения коррозионной стойкости уплотнительных, трущихся и разъемных поверхностей деталей трубопроводной арматуры и предохранительных устройств из углеродистой и низколегированной стали должна производиться антикоррозионная наплавка [3].

Преимущества наплавки перед остальными методами поверхностного упрочнения деталей и узлов оборудования:

1. возможность получения заданных параметров структуры и свойств восстанавливаемых деталей;

2. использование наплавки для ремонта изделий за счет заварки дефектов, это и заварка локальных трещин, коррозий и других дефектов;

3. возможностью многократного проведения процесса и, следовательно, высокой ремонтоспособностью наплавляемых деталей;

4. высокая автоматизация процесса;

Помимо существенных преимуществ у наплавки существуют и ряд минусов:

1. образование прослоек по линии сплавления, обладающих высокой твердостью;

2. из-за большого термического воздействия от источника тепла часто возникают деформации изделия;

3. часто возникают трещины в линии сплавления, что приводит к отслаиванию наплавки [4].

Так при высоколегированной наплавке на поверхность детали из углеродистых сталей возникают следующие трудности:

1. ухудшение свойств наплавленного слоя из-за перехода в него элементов основного металла, связанный разбавлением жидкого металла сварочной ванны

2. возникновения напряжений как внутренних, так и поверхностных в наплавленных деталях. Данные напряжения возникают из-за разности физических свойств используемых материалов, и как следствие появление деформаций и снижение эксплуатационных свойств конструкции в целом.

Поэтому целью работы является установление возможности получения качественного соединения из легированных сталей, наплавленных на углеродистую, путём исследования структуры и наличие дефектов при ручной дуговой наплавке различными типами электродов.

1 Анализ состояния по наплавке высоколегированных сталей на углеродистые

1.1 Применение наплавки в промышленности

В современном производстве разработано и реализовано множество способов восстановления конструкций (рисунок 1). Наплавка - наиболее доступный и распространенный метод восстановления деталей и создания на их поверхности покрытий специально заданных свойств.

Наплавка является разновидностью сварки и заключается в том, что она не соединяет металлические детали в одно целое, а наращивает, наплавляя на основной металл присадочный материал послойно определенной высоты. Причем прочность наплавки не меньше прочности металла восстанавливаемой детали.

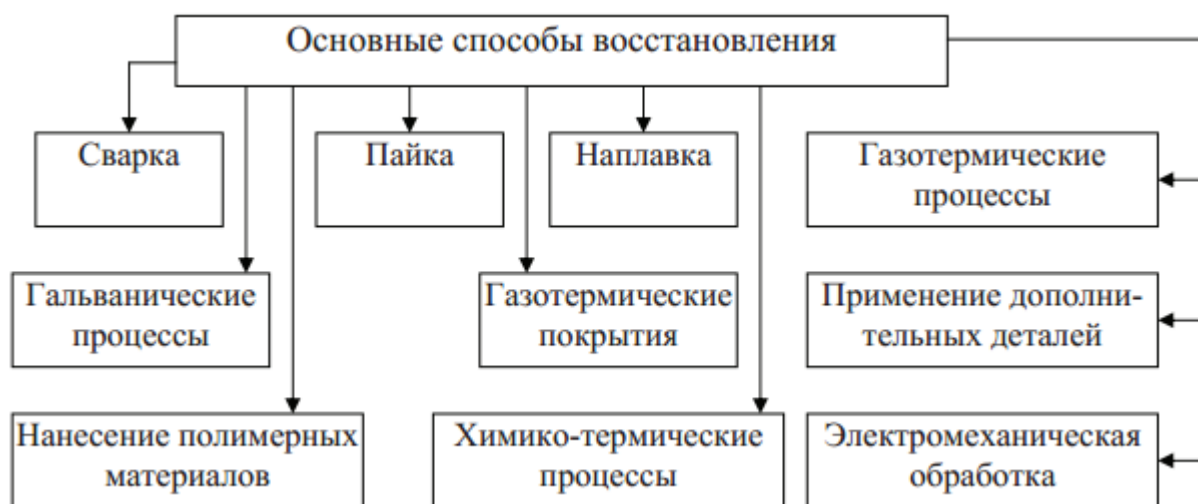


Рисунок 1 – Основные способы восстановления деталей

«При наплавке на поверхности детали можно получить наплавленный слой любой толщины, любого химического состава с разнообразными свойствами. Толщина слоя наплавки может изменяться в широких пределах – от долей миллиметра до десятков миллиметров. Так же при наплавке поверхностных слоев с заданными свойствами, в большинстве случаев, химический состав наплавленного металла существенно отличается от химического состава основного металла. Восстановительная наплавка

(наварка) применяется для восстановления первоначальных размеров изношенных или поврежденных деталей. В этом случае наплавленный металл по составу и свойствам может быть близок к основному (восстановительная размерная наплавка) или отличаться от него (восстановительная износостойкая наплавка)» [5].

Восстановление изделия наплавкой – устранение недопустимых дефектов возникших в процессе работы изделия (рисунок 2). Так же существует ремонтная сварка, которую можно выделить в самостоятельный производственный процесс, проводимый с целью восстановления конструкций, узлов, деталей, поврежденных под действием эксплуатационных нагрузок и факторов или по иным причинам.



Рисунок 2 – Восстановительная наплавка

Известно, в сравнении с другими способами поверхностной обработки металла технология наплавки обладает рядом преимуществ и недостатков.

Преимущества

1. Создание покрытия большой толщины. Высокий эффект наплавки достигается при восстановлении деталей с большой величиной износа, кроме того, позволяет изготавливать сосуды высокого давления из обычной стали с последующей наплавкой коррозионно-стойкой стали на внутреннюю поверхность, что более экономично по сравнению с применявшейся ранее технологией изготовления сосудов из плакированной стали, получаемой прокаткой.

2. За счет автоматизации и механизации способов наплавки будет возрастать производительность наплавки.

3. Относительная простота конструкции и транспортабельность оборудования, приспособленного для выполнения работ вне помещений, например, наплавка деталей землеройных и сельскохозяйственных машин в полевых условиях.

4. Отсутствие ограничений по размерам наплавляемых поверхностей изделий; наплавку можно применять для таких крупногабаритных объектов, как сосуды высокого давления атомных реакторов, конусы засыпных аппаратов доменных печей и т. д., тогда как другие способы поверхностной обработки (электролитическое или горячее металлопокрытие, цементация и т. д.) имеют существенное ограничение по размерам обрабатываемых изделий.

5. Простота выполнения процесса наплавки, не требующая определенных профессиональных навыков сварщика, при автоматическом или полуавтоматическом режиме наплавки.

6. Возможность нанесения износостойкого слоя на основной металл любого состава.

7. Возможность повышения эффективности наплавки путем её сочетания с другими способами поверхностной обработки; например, после наплавки изделие подвергают плазменной закалке или азотированию.

Недостатки

1. «Ухудшение свойств наплавленного слоя из-за перехода в него элементов основного металла; например, снижение коррозионной стойкости, износостойкости и т.д.» [5].

2. «Деформация изделия, вызываемая высокой погонной энергией наплавки. Неправильный выбор режима наплавки может привести к чрезмерной деформации изделия, поэтому для сохранения точности размеров и формы изделия необходимо принимать особые меры, например, наплавку изделия необходимо проводить в зажатом состоянии, исключая его

деформацию, создавать «обратную» предварительную деформацию, осуществлять последующую механическую обработку» [5].

3. «Неравномерность свойств наплавленных изделий, обусловленная тем, что наплавленный слой, в отличие от плакированного, имеет характерные свойства и особый состав, присущий металлу сварного шва. Поэтому для получения качественных наплавленных слоев сварщику необходимо иметь специальные сведения в области теоретической подготовки, например, металловедения, термической обработки, технологической прочности» [5].

4. «Более ограниченный выбор сочетаний основного и наплавляемого металлов, чем, например, при напылении. Наплавка допускает разнообразные сочетания основного и наплавляемого металлов, однако в отличие от напыления имеются определенные ограничения, например, при наплавке титаном на стальную поверхность на границе основного металла и наплавленного слоя образуется хрупкая прослойка интерметаллических соединений, что практически исключает возможность применения методов наплавки титаном» [5].

5. «Трудность наплавки мелких деталей сложной формы. Наплавка сопровождается оплавлением поверхностного слоя основного металла и протекает в условиях непрерывного перемещения сварочной ванны, состоящей из смеси основного и наплавляемого металлов. При наплавке мелких деталей условия формирования такой ванны ухудшаются, а при сложной форме изделия также затруднено её плавное перемещение, что исключает образование ровного качественного наплавленного слоя. Кроме того, мелкие детали от воздействия сварочной дуги быстро нагреваются до температуры пластического течения металла, и в результате может происходить изменение формы изделия и даже его частичное расплавление» [5].

Решение о возможности и целесообразности выполнения ремонтных работ с помощью сварки и наплавки принимается с учетом всех требований,

указанных в нормативных документах и документах на проектирование, изготовление и эксплуатации ремонтируемой конструкции.

Выполнение ремонта ответственных конструкций рекомендуется строго выполнять по специально разработанной проектно-технологической документации с учетом фактического состояния металла конструкции (узла, детали), причин повреждения и отсутствия нагрузок на ремонтируемом изделии при выполнении ремонтных работ.

В химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также в котельном оборудовании используются технологические трубопроводы в сочетании с трубопроводной арматурой и предохранительными устройствами (рисунок 3), которые работают в соприкосновении с агрессивными веществами, вызывающими интенсивную коррозию металлов (рисунок 4). «Коррозия (сплошная и местная). Это процесс разрушения металлов вследствие химического и электрохимического взаимодействия с коррозионной средой. Общая коррозия проявляется в постепенном уменьшении первоначальной толщины деталей; местная коррозия (избирательная) проявляется на отдельных участках деталей, имеющих нарушение структуры и свойств металла, а также на участках, подверженных действию внешних факторов (температуры, давления, коррозионной среды и т. д.). Оценивать и прогнозировать процессы развития внешней коррозии практически невозможно, поэтому она во многих случаях приводит к внезапному выходу конструкции из строя. Значительно снижают работоспособность сварной конструкции такие виды избирательной коррозии, как межкристаллитная коррозия, ножевая коррозия по линии сплавления» [5].



Рисунок 3 – Предохранительная арматура (технологическая задвижка)

Поэтому для предотвращения коррозии, а также в процессе ремонта, одним из направлений повышения долговечности оборудования, является применение высоколегированной наплавки, к примеру, использование наплавки антикоррозионными материалами для повышения коррозионной стойкости уплотнительных поверхностей или качества уплотнений литой арматуры, а также для наплавки поверхностей разъема (рисунок 5).



Рисунок 4 - Коррозия изделий в процессе эксплуатации

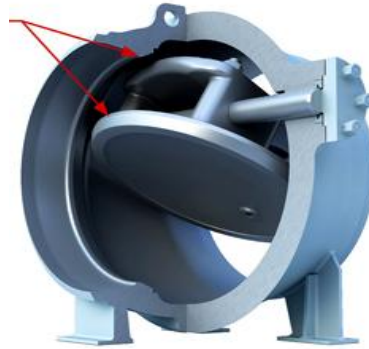


Рисунок 5 - Коррозионностойкая наплавка

Однако в настоящее время в качестве коррозионно-стойких конструкционных материалов широкое применение находят нержавеющие стали аустенитного класса для увеличения срока службы изделия в целом. Основной большой недостаток применения аустенитных сталей заключается в высокой стоимости по сравнению с углеродистыми сталями, связанной с необходимостью их легирования такими дорогостоящими элементами, как хром и никель в больших количествах.

Одним из путей решения задачи - снижения себестоимости изделия тем самым повышения экономической целесообразности применения таких материалов является формирование на поверхности углеродистых сталей поверхностных слоев (покрытий), соответствующих по химическому составу высоколегированным сталям [2].

Однако в связи с мало изученностью физических процессов формирования таких покрытий на углеродистые основания, производители трубопроводной арматуры используют лишь некоторые типы коррозионно-стойких покрытий. Все более и более агрессивные окружающие среды заставляют и производителя и конечного пользователя находить и использовать эффективные и экономичные решения. Поэтому изучение процессов формирования и применение удовлетворительного покрытия на дешевом основании - основная задача для всех производителей.

1.2 Анализ свойств используемых металлов в промышленности

Технологические трубопроводы в сочетании с трубопроводной арматурой и предохранительными устройствами, сосуды, работающие под давлением, используемые в различных областях промышленности, могут изготавливаться из различных марок стали. Главное условие для выбора стали - это способность выдерживать нагрузки от эксплуатации (внешние и внутренние), поэтому при выборе металла должны быть изучены и учтены его свойства.

Все свойства металлов, а также и их сплавов можно разделить на четыре группы: физические, химические, технологические и механические [6].

Механические свойства:

1. предел прочности;
2. предел текучести;
3. пластичность;
4. ударная вязкость;
5. твердость.

К технологическим свойствам металлов относятся их способность подвергаться различным видам обработки.

Основные технологические свойства, это:

1. ковкость;
2. жидкотекучесть;
3. обрабатываемость резанием;
4. свариваемость.

Свариваемость устанавливает возможность получения при сварке металлов соединения удовлетворительного качества. Как правило, стали с низким содержанием углерода обладают хорошей свариваемостью, с высоким содержанием углерода ограниченной или плохой. Вероятно, потребуется

осторожность при выборе расходных материалов и использовании высоких уровней предварительного нагрева.

Низкоуглеродистые нелегированные материалы легко свариваются, в среднем диапазоне толщин. Однако при сварке более толстых секций методом флюса существует риск растрескивания водорода в зоне термического влияния, что потребует более тщательного контроля расхода водорода или использования предварительного нагрева.

При сварке ферритной, мартенситной или закаленной нержавеющей стали для обеспечения соответствующей прочности металла сварного шва необходим предварительный нагрев, чтобы избежать растрескивания ЗТВ.

Аустенитные нержавеющие стали - эти стали обычно не нуждаются в предварительном нагреве, но во избежание проблем с затвердеванием или растрескиванием при сварке следует выбирать материалы, чтобы получить металл сварного шва с низким содержанием примесей или, при необходимости, остаточный феррит в металле сварного шва.

Аустенитные ферритные нержавеющие стали - при сварке этих сталей поддержание фазового баланса в металле сварного шва и в ЗТВ требует тщательного выбора расходных материалов, отсутствия предварительного нагрева и контроля максимальной межпроходной температуры, а также минимальных уровней подводимой теплоты, поскольку медленное охлаждение способствует образованию аустенита в ЗТВ.

Физические свойства:

1. плотность;
2. теплопроводность;
3. электропроводность.

Химические свойства металлов характеризуют отношение их к химическим воздействиям различных активных сред. Каждый металл обладает определенной способностью сопротивляться этим воздействиям.

Основными химическими свойствами металлов являются [5]:

1. жаростойкость;

2. стойкость против коррозии;
3. окисляемость;
4. жаропрочность.

Известно, что в химический состав стали помимо железа и углерода входят и другие химические элементы. Однако данные элементы из-за несовершенства технологии производства или специально введенные в химический состав содержатся в малых количествах. В последнем случае химические элементы называются легирующими. Так все элементы, входящие в химический состав стали можно условно подразделить на две группы: полезные и вредные.

Полезные элементы:

1. углерод - в малых количествах не влияет на свариваемость стали (до 25 %) и определяет прочность, вязкость и закаливаемость стали, в больших количествах свыше 25% снижает свариваемость стали.

2. кремний - при содержании до 0,3% повышает предел текучести и прочности (временное сопротивление), снижает свариваемость и ударную вязкость стали; при содержании до 0,6% повышает упругие свойства стали;

3. марганец - при небольшой концентрации (до 1,8%) мало влияет на свариваемость стали, но способствует ее закалке; при высоком содержании (свыше 1,8%) сварка затруднена - вероятность появления трещин;

4. хром - при содержании от 0,3% до 35% повышает твердость и прочность стали, однако снижает ее пластичность и вязкость. При высокой температуре в процессе сварки образует карбиды, что затрудняет процесс сварки;

5. никель - улучшает прочностные и пластические свойства стали; не оказывает влияния на свариваемость;

6. молибден - улучшает прочностные характеристики стали, делает ее теплоустойчивой, увеличивает твердость стали и несущую способность конструкций при ударных нагрузках и высоких температурах. Затрудняет сварку, так как интенсивно окисляется и выгорает;

7. ванадий - повышает вязкость (способность материала противостоять механической энергии в процессе деформации и разрушения под действием ударных нагрузок) и пластичность стали, улучшает ее структуру, способствует закалке, ухудшает свариваемость;

8. вольфрам - ухудшает свариваемость, увеличивает твердость и работоспособность стали при высоких температурах;

9. ниобий и титан - повышает коррозионную стойкость стали, при сварке способствует образованию кристаллизационных трещин;

10. медь - повышает прочность и коррозионную стойкость стали, не оказывает влияния на свариваемость.

Вредные элементы:

1. сера - придает красноломкость - большую хрупкость при высоких температурах, на свариваемость оказывает плохое влияние;

2. фосфор - придает хладноломкость - хрупкость при нормальных температурах, на свариваемость оказывает плохое влияние;

3. азот – при низких температурах увеличивает хрупкость стали и способствует ее старению;

4. кислород и водород - ухудшают структуру стали и способствуют повышению ее хрупкости [5].

В сосудах, работающих под давлением и технологическом оборудовании, широко используются углеродистые и аустенитные нержавеющие стали. Чаще всего такие стали используются в сочетании друг с другом, например:

1. сварка разнородных сталей - сталь30+08X18H10T и т.д.

2. наплавка - сталь30/08X18H10T и т.д.

Такое сочетание материалов позволяет выдерживать большие значения избыточного давления и продлить срок эксплуатации технологического оборудования работающего в коррозионной среде.

1.3 Обзор характеристик углеродистой и высоколегированной стали

1.3.1 Основные характеристики стали 30

Сталь 30 - сталь конструкционная углеродистая качественная, применяется для изготовления валов, соединительных муфт, предохранительной арматуры и других деталей с невысокой прочностью [7].

В соответствии с ГОСТ 1050-88 химический состав стали 30 включает в себя кремний (Si) - 0,17-0,37%; марганец (Mn) - 0,50-0,80%; медь (Cu) - не более 0,25%; мышьяк (As) - не более 0,08%; никель (Ni) - не более 0,25%; серу (S) - не более 0,04%; углерод (C) - 0,27-0,35%; фосфор (P) - не более 0,035%; хром (Cr) - не более 0,25% [8].

Твердость по Бринеллю: $HV 10^{-1} = 179$ МПа.

Температура критических точек, при которых происходит изменение фазового состояния и структуры стали при нагреве или охлаждении её в твёрдом виде: $A_{c1} = 730$, $A_{c3}(A_{cm}) = 820$, $A_{r3}(A_{rcm}) = 796$, $A_{r1} = 680$, $M_n = 380$ [7].

В таблицах 1 и 2 приведены физические свойства и механические свойства стали 30 [7, 9]

Таблица 1 - Физические свойства стали 30

Температура, при которой получены свойства, T (°C)	Модуль упругости, $E \cdot 10^{-5}$ (МПа)	Коэффициент температурного (линейного) расширения, $\alpha \cdot 10^6$ (1/°C)	Коэффициент теплопроводности (теплоемкость материала), λ (Вт/(м·°C))	Плотность, ρ (кг/м ³)	Удельная теплоемкость материала С (Дж/(кг·°C))
20	2	12,1	52	7850 470	
100	1,96		51	-	
200	1,91	12,9	49	-	483
300	1,85	13,6	46	-	546
400		14,2	43	-	563

Продолжение таблицы 1

Температура, при которой получены свойства, T (°C)	Модуль упругости, $E \cdot 10^{-5}$ (МПа)	Коэффициент температурного (линейного) расширения, $\alpha \cdot 10^6$ (1/°C)	Коэффициент теплопроводности (теплоемкость материала), λ (Вт/(м·°C))	Плотность, ρ (кг/м ³)	Удельная теплоемкость материала С (Дж/(кг·°C))
500	1,85	14,7	39	-	764
600	1,64	15	36	-	
700		15,2	32	-	

Таблица 2 - Механические свойства при T=20°C стали 30

Сортамент	Размер, мм	Предел кратковременной прочности, σ_b (МПа)	Предел прочности физический (нижний предел текучести), σ_t (МПа)	Относительное удлинение после разрыва, σ_s (%)	Относительное сужение, ψ (%)
Лист термообработ., ГОСТ 4041-71	4 - 14	430-590	-	24	-
Прокат, ГОСТ 1050-88	до 80	490	295 21	50	Нормализация
Прокат нагартован., ГОСТ 1050-88	-	560	-	7	35
Прокат отожжен., ГОСТ 1050-88	-	440		17	45

Технологические свойства стали 30 [9].

1. Температура началаковки 1280°C, конца 750 °C, заготовки сечением до 800 мм охлаждаются на воздухе.

2. Сталь 30 ограничено свариваемая и относится ко 2 группе свариваемости, т.е. при сварке в нормальных условиях такие стали не склонны к образованию трещин на швах, а также стали, которые нуждаются

в предварительном подогреве и последующей термообработке для достижения удовлетворительных свойств сварного соединения и наплавки.

3. В нормализованном состоянии при твердости 143 НВ и $\sigma_b=470$ Н/мм²; коэффициент относительной обрабатываемости стали $K_v=1,5$ (твердый сплав); $K_v=1,26$ (быстрорежущая сталь).

4. Сталь 30 не флокеночувствительна, т.е. не склонна к дефектам внутреннего строения в виде серебристо-белых пятен (в изломе) или волосовин (на протравленных шлифах).

1.3.2 Основные характеристики стали 08X18H10T

Сталь 08X18H10T - конструкционная высоколегированная, коррозионно-стойкая, жаростойкая, жаропрочная, применяется для изготовления сварных изделий, работающих в средах более высокой агрессивности, чем сталь марок 12X18H10T и 12X18H12T: теплообменники, змеевики, трубы, детали печной арматуры [7].

Сталь относится к аустенитному классу, в процессе кристаллизации образуется однофазная аустенитная структура γ -Fe с ГЦК решеткой, входящая в состав фаза высоколегированного феррита δ -Fe с ОЦК решеткой изменяется 0-10 %. Сталь содержит 18 ...25 % Cr, который обеспечивает жаро- и коррозионную стойкость, а также 8...12 % Ni (в других марках до 35%), стабилизирующего аустенитную структуру. За счет этого аустенитные стали применяют в коррозионно-стойких, а также, криогенных конструкциях, где работают в агрессивных средах.

Так же помимо хрома и никеля могут находиться и другие легирующие элементы (как в твердом растворе так и избыточных фазах): аустенитизаторы (марганец, азот, углерод) и ферритизаторы (вольфрам, титан, кремний, молибден, ниобий, ванадий), повышающие указанные свойства и действующие на стабильность аустенитной структуры эквивалентно хрому и никелю.

Ферритизаторы формируют высоколегированный феррит (δ -Fe); аустенитизаторы стабилизируют аустенитную структуру (γ -Fe).

Сталь 08X18H10T обладает повышенной сопротивляемостью межкристаллитной коррозии. Твердость стали по Бринеллю: $HV 10^{-1} = 179$ МПа

По ГОСТу 5632-72 химический состав стали 08X18H10T включает в себя углерод (C) - до 0,08%; кремний (Si) - до 0,8%; марганец (Mn) - до 2%; никель (Ni) - 9 - 11%; сера (S) - до 0,02%; фосфор (P) - до 0,035%; хром (Cr) - 17 - 19%; медь (Cu) - до 0,3%; (5C – 0,7) титан Ti, остальное (железо) Fe [10].

В таблицах 3 и 4 приведены физические свойства и механические свойства стали 08X18H10T [7, 9]

Таблица 3 - Физические свойства материала 08X18H10T

Температура, при которой получены свойства, T (°C)	Модуль упругости, $E \cdot 10^{-5}$ (МПа)	Коэффициент температурного (линейного) расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$ (1/°C)	Коэффициент теплопроводности и (теплоемкость материала), λ (Вт/(м·°C))	Плотность, ρ (кг/м ³)
20	1,96	-	-	7900
100	-	16,1	16	-
200	-	-	18	-
300	-	17,4	19	-
400	-	-	-	-
500	-	18,2	-	-

Таблица 4 - Механические свойства при T=20°C материала 08X18H10T

Сортамент	Предел кратковременной прочности, σ_b (МПа)	Предел прочности физический (нижний предел текучести), σ_T (МПа)	Относительное удлинение после разрыва, σ_s (%)	Термообработка
Лист толстый, ГОСТ 7350-77	510	205	43	Закалка 1030 - 1080°C, охлаждение воздух
Лист тонкий, ГОСТ 5582-75	530	205	40	Закалка 1050 - 1080°C, охлаждение вода

Технологические свойства стали 08X18H10T [9]

1. Температура началаковки 1220°C, конца 850°C.
2. Сталь 08X18H10T хорошо свариваемая и относится к 1 группе свариваемости сталей, и могут быть сварены без подогрева и без обязательной последующей термообработки.
3. В состоянии поставки при твердости 143 НВ и $\sigma_b = 510$ Н/мм²; коэффициент относительной обрабатываемости стали $K_v=1,1$ (твердый сплав); $K_v=0,3$ (быстрорежущая сталь).

1.4 Особенности наплавки высоколегированных сталей на углеродистые

Как известно качество наплавки во многом зависит от химических и физических свойств, степени легирования, наличия примесей используемых сталей, различия в структуре и наличии оксидных пленок.

Оксидная пленка оказывает негативное влияние на соединение любых металлов независимо от того, являются они разнородными или однородными. Поэтому перед сваркой необходимо произвести предварительную очистку кромок и поверхностей изделия, например, очистка металлической щеткой или УШС. Так же пагубное влияние окислов

может быть предотвращено при условии защиты сварочной ванны (аргоном) от окисления металла в результате контакта с окружающей средой - кислородом.

Так же свариваемость металлов зависит в большей степени от физических свойств соединяемых металлов - существенно отличаются друг от друга. Если коэффициенты линейного расширения свариваемых металлов соизмеримы по значению, то технология сварки существенно упрощается. Если же имеется большое расхождение величин коэффициентов, то перед сваркой проводится предварительный нагрев материала с меньшим коэффициентом линейного расширения, так же в целях компенсации тепловых потерь в процессе сварки необходимо нагревать материал с большей теплопроводностью.

На свариваемость чаще всего оказывает металлургическая совместимость - определяется взаимной растворимостью свариваемых металлов, как в жидком, так и в твердом состоянии, а также образованием интерметаллидов. Легко образуют сварные соединения металлы, в состав которых входят элементы, обладающие неограниченной взаимной растворимостью не только в жидком, но и в твердом состояниях [11].

Неоднородность химического состава сварного соединения, сложившаяся после его кристаллизации, вызывает внутренние напряжения, их концентрацию в отдельных зонах с пониженной прочностью, что приводит к локальным разрушениям соединения.

Известно, что разнородные стали отличаются кристаллической решеткой, и имеют ГЦК, ОЦК решетки. Так же они подразделяются на следующие классы (перлитные, аустенитные и т.д.), и стали с однотипной кристаллической решеткой - низколегированные, легированные, высоколегированные.

Свариваемость включает в себя и величины технологической прочности (стойкость против образования горячих и холодных трещин), и эксплуатационной прочности. Известно, что при сварке разнородных

металлов образуется неоднородность соединений, которая приводит к различным дефектам, тем самым снижая эксплуатационную прочность. Эта неоднородность, а тем самым и трудность сварки вызвана существенными отличиями сталей: это и химический состав используемых материалов; это и коэффициент линейного расширения; это и температура плавления и теплофизические свойства; это температура структурных превращений.

При наплавке разнородных сталей происходит смешивание жидких металлов в сварочной ванне в различных соотношениях: перлитной стали с аустенитной или ферритной либо ферритной с аустенитной. Так, например, при наплавке доля участия в формировании шва основного металла: перлитная - 0,15... 0,40% при сварке РД, аустенитная - 0,25... 0,50%. Получаемый химический состав соединения имеет промежуточные значения по содержанию элементов и структуру, оцениваемую по эквивалентам хрома и никеля на диаграмме Шеффлера (рисунок 6) [12].

«Диаграммы состава» используются для прогнозирования уровней феррита в структуре путем сравнения эффектов элементов, стабилизирующих аустенит и феррит. Феррит важен для предотвращения горячего растрескивания во время охлаждения при сварке аустенитных нержавеющей сталей.

«Так, металл шва, соответствующий области А, имеет однофазную аустенитную структуру склонную к образованию горячих трещин. Шов со структурой А + Ф, т.е. с аустенитно-ферритной структурой, при повторных нагревах претерпевает охрупчивание в результате превращения феррита в сигма-фазу ($\delta - \text{Fe} \rightarrow \sigma$). Для швов со структурой Ф характерен рост зерна при высоких температурах и хрупкость при нормальных. Швы со структурой М, М+А, М+Ф, М+А+Ф имеют мартенситную составляющую, вызывающую образование холодных трещин. Это осложняет обеспечение свариваемости при сварке сочетаний разнородных сталей, так как различные дефекты возникают не только в шве, но и в околошовной зоне» [13].

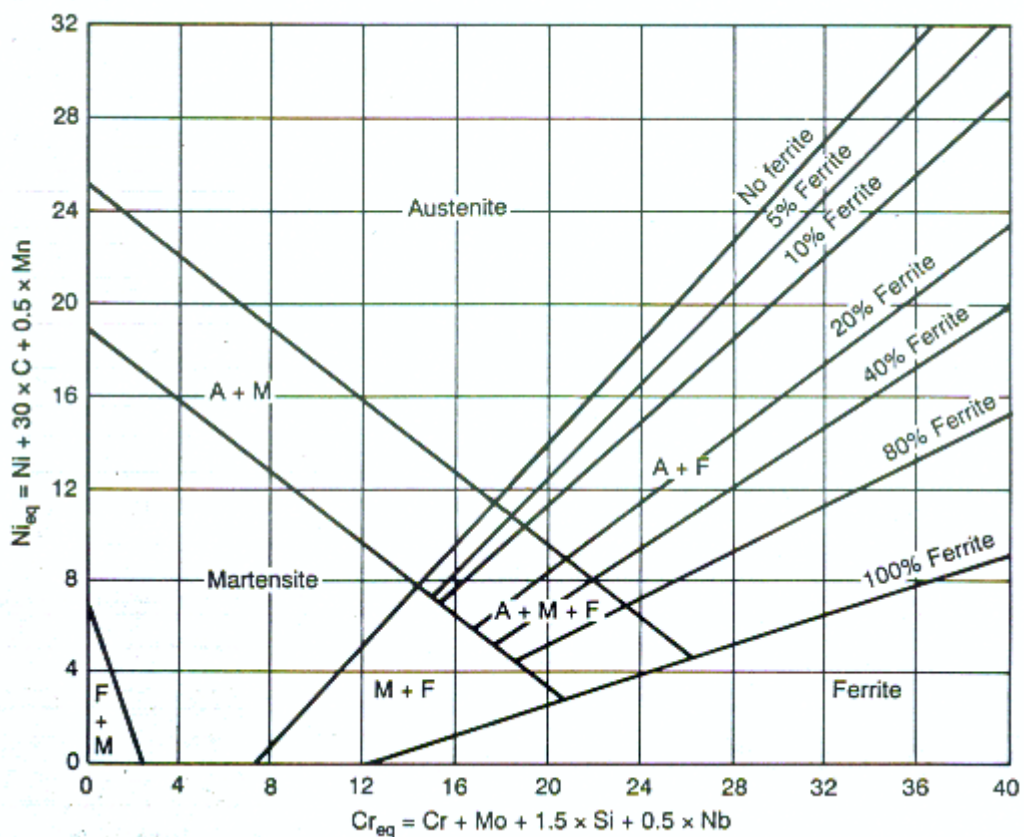


Рисунок 6 - Диаграмма Шеффлера [12]

Диаграмма Шеффлера наглядно определяет структуру основного металла, сварочного материала и металла шва. Для определения структуры необходимо знать химический состав используемых материалов. Положения точек, указывающих на структуру материалов, вычисляются через их химический состав с помощью формул так называемых Cr- и Ni-эквивалентов, отложенных по осям абсцисс и ординат соответственно. При соединении этих точек на диаграмме получается «прямая разбавления», по которой можно определить структуру металла при любой степени разбавления. Для нахождения точки, соответствующей определенной структуре, длина прямой принимается за 100 %, и по ней откладывается степень разбавления, при ручной дуговой сварке 15-30% [11].

«Никелевый эквивалент» рассчитан для аустенитных стабилизирующих элементов и «хромовый эквивалент» ферритовых стабилизирующих элементов. Они используются в качестве осей для

диаграмм, которые показывают эквивалентные по составу области, где должны присутствовать фазы аустенит, феррит, мартенсит (и их смеси).

Неоднородность химического состава сварного соединения, сложившаяся после его кристаллизации, вызывает внутренние напряжения, их концентрацию в отдельных зонах с пониженной прочностью, что приводит к локальным разрушениям соединения.

В целях уменьшения кристаллизационной прослойки необходимо выбирать способы сварки с использованием высококонцентрированных источников тепла (плазма, лазер) и режимы сварки, которые обеспечивали минимальную глубину проплавления (дуговая сварка в защитных газах).

При сварке сталей перлитного класса с аустенитными наиболее часто появляются кристаллизационные прослойки или неоднородности, которые приводят к трещинам. Поэтому необходимо использовать аустенитные сварочные электроды, позволяющие получить композиции наплавленного металла с таким запасом аустенитности, чтобы компенсировать участие в шве перлитной стали и гарантированно обеспечить в высоколегированном шве или наплаве аустенитную структуру. Известно, что при сварке нержавеющей сталей с низкоуглеродистыми образуются твердые хрупкие структуры. На диаграмме Шеффлера (рисунок 6 и 7) [12, 14] показана зависимость формирования структуры будущего шва от химического состава используемого сварочного материала. По данной диаграмме видно, что сварку нержавеющей сталей с низкоуглеродистыми возможно осуществить. Однако разнообразие комбинаций используемых сталей не позволяет дать общие рекомендации по их сварке, которые гарантировали приемлемый результат и качество.

Наиболее удовлетворительный результат можно получить, если используются стали с хорошей свариваемостью и имеются конкретные методы по избежанию образования трещин. Наиболее часто встречающиеся - необходимо применять высоколегированный присадочный материал, чем нержавеющая сталь. Наиболее часто встречаются материалы с химическим

составом: 29%Cr + 9%Ni; 18%Cr + 8%Ni + 6%Mn; (23...25)%Cr + (11...15)%Ni (может входить в состав Mo).

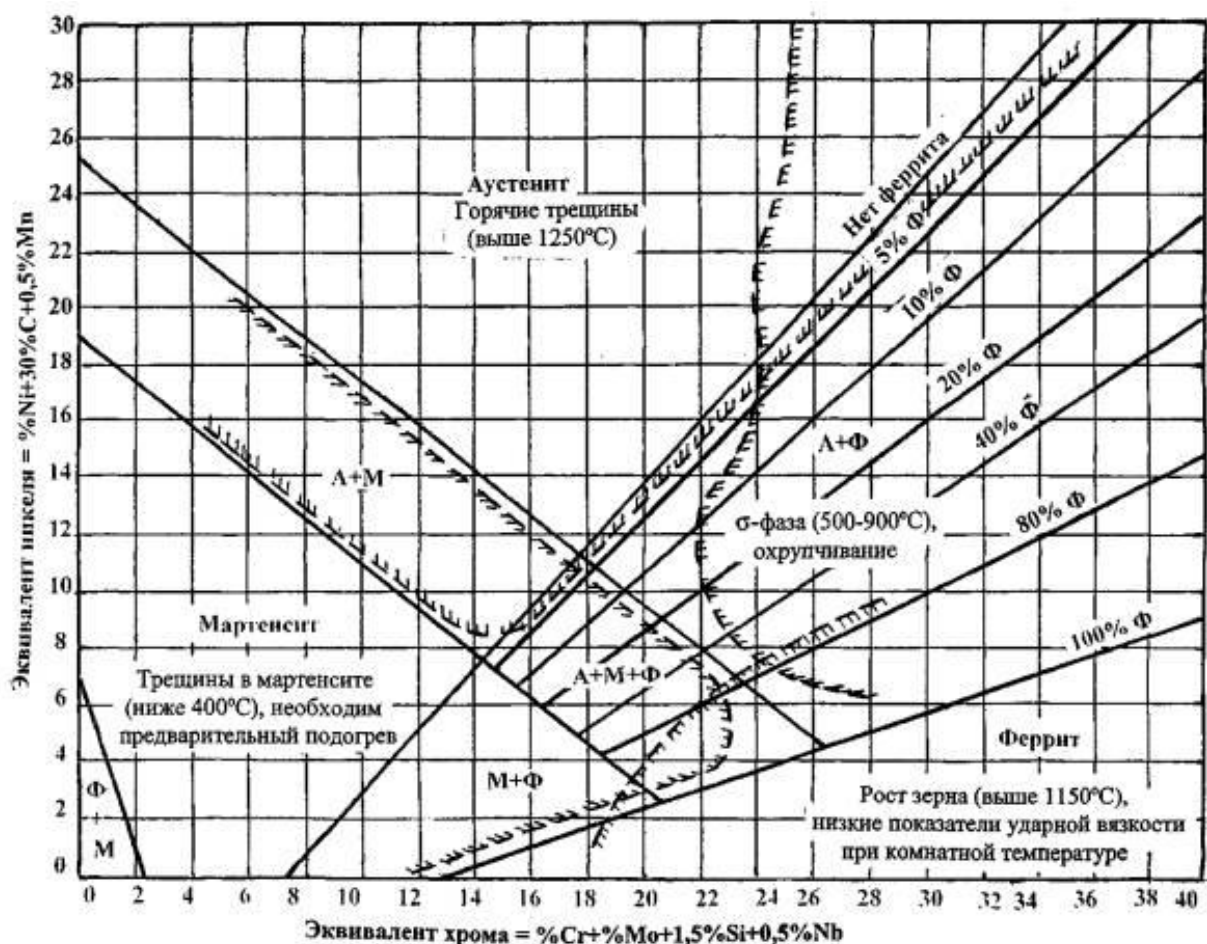


Рисунок 7 – Структурный состава наплавленного металла при сварке нержавеющей стали с углеродистой [14]

Хотя эти диаграммы предназначены для демонстрации фазового баланса сварочных швов, они также могут использоваться для иллюстрации фазового баланса «исходного» материала. Существуют разные диаграммы для разных систем сплавов.

Существует так же диаграмма Делонга (рисунок 8), которая уточняет диаграмму Шаффлера с учетом сильной аустенитной стабилизации азота (азотный коэффициент равен 30%) [15].

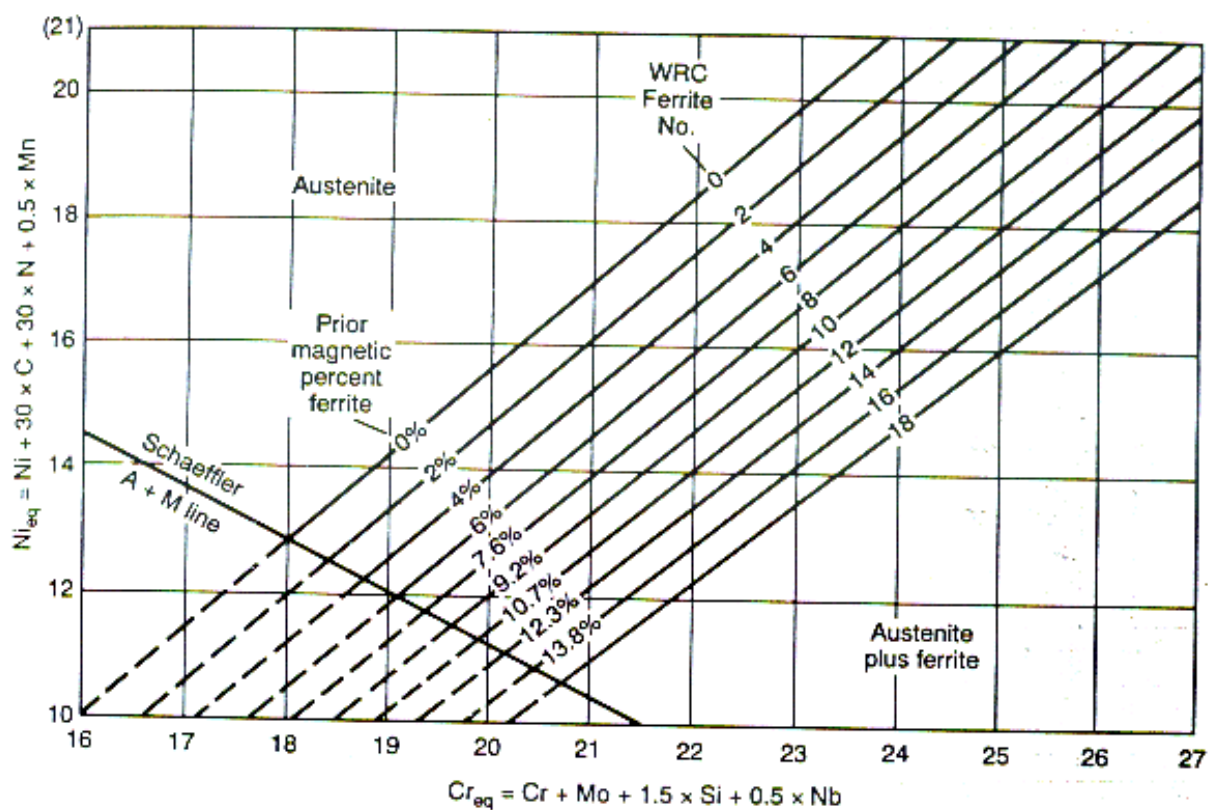


Рисунок 8 - Диаграмма Делонга [15]

Диаграмма, обозначающая границы фаз, приведена ниже. Она показывает уровни феррита в полосах, как в процентах, на основе металлографических определений, так и в виде числа ферритов «FN», основанного на магнитных методах определения.

На производстве при сварки нержавеющей сталей с низкоуглеродистыми или низколегированными заполнение разделки осуществляется высоколегированным сварочным материалом или на основе Ni чем основной нержавеющей материал.

Так же существует еще один метод - наплавка на поверхность из «черной» стали переходного слоя электродом более высоколегированным, чем нержавеющей сталь с последующим заполнением электродом аналогичным основному – нержавеющей стали.

Если же сварочные электроды были подобраны неправильно, то в шве появятся трещины. Причинами образования трещин в шве между высоколегированной и углеродистой сталями склонность к водородной

охрупчиваемости и к кристаллизационным трещинам. Если возникновение трещин происходит по двум причинам, то электрод необходимо выбирать, где появление трещин наименее вероятно. Водородная хрупкость обычно появляется в электродах с высоким содержанием влаги в обмазке или из-за плохой подготовки свариваемой поверхности (рисунок 9).

Так же при сварке происходит разбавление ванны металлом углеродистой стали. Если в качестве электродов используется менее легированный сварочный материал, то в шве могут сформироваться мартенситные структуры. Сварочный шов получается наиболее твердым и с течением времени приводит к образованию трещин. Риск образования водородных трещин, связанных с образованием в металле шва мартенситных структур, может быть значительно снижен за счет применения соответствующих сварочных материалов.

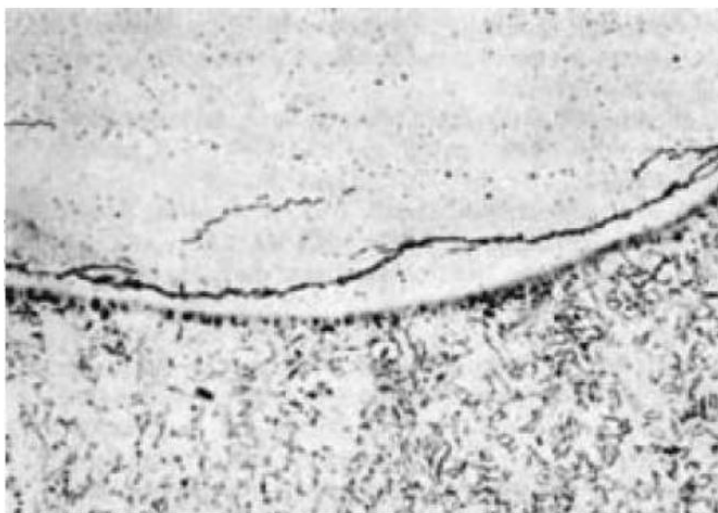


Рисунок 9 - Пример трещины по образовавшимся в наплавленном металле (сверху) водородным включениям при сварке нелегированной стали (внизу) с высоколегированной сталь (100x)

Таким образом, для получения качественных результатов, используемые при наплавки стали должны иметь близкие физические, механические, термические, химические свойства, близость коэффициентов термического линейного расширения.

На основе выше изложено и с учетом особенностей соединения аустенитного высоколегированного металла наплавки и углеродистого основного металла можно сделать следующие выводы:

1. Повышенное содержание углерода сильно влияет на качество наплавки. Из-за повышенного содержания углерода снижается свариваемость (т.е. уменьшается способность образовывать качественное соединение), что связано с предпосылками к образованию трещин и закалочных структур, снижению стойкости к кристаллизационным трещинам и трудностями в обеспечении прочности наплавки. Для качественной наплавки необходим предварительный или сопутствующий подогрев. В процессе сварки углеродистой стали подогрев может быть до 350 градусов по Цельсию. Это предотвратит возникновение закалочных структур в области наплавки, тем самым повысится прочность наплавки. После сварки сталь обрабатывается термообработкой для достижения хорошей нормализации и отпуска. Это позволяет обеспечить одинаковую прочность всего изделия [16].

2. Аустенитные стали имеют низкий коэффициент теплопроводности и высокий коэффициент линейного расширения. Низкая теплопроводность металла говорит о том, что в процессе нагревания металла он не отводит тепловую энергию, а накапливает в себе. А это чревато повышением температуры на определенном участке. Линейное расширение у нержавеющей стали выше, чем у черного металла. Почему так важно данное значение. Все дело в том, что после большого расширения при нагреве будет происходить обратный процесс – усадка на ту же величину, что и расширение. То есть, появятся трещины в большом количестве. Поэтому наплавку следует выполнять с минимальными проплавлениями и тепловложениями [13, 17]. Так же необходимо применять высоколегированный присадочный материал, чем основной металл.

1.5 Обзор известных решений изготовления деталей с наплавленным покрытием

Обзор способ производился по следующим параметрам [18]:

1. предмет поиска – наплавка; с наплавленным покрытием;
2. индекс МКИ - В 23 К 9/04 (В - различные технологические процессы; В23 - металлорежущие станки, способы устройства для обработки металлов не отнесенные к другим классам; В23 К - пайка, сварка, плакирование или нанесение покрытий пайкой или сваркой, резка путем местного нагрева, обработка металлов лазерным лучом; В23 К 9 - Электродуговая сварка или резка; В 23К 9/04 - для иных целей, чем соединение, например с целью наплавки);
3. глубину поиска - 30 лет, отсчитывая от 2018 года;
4. широту поиска - ограничиваем страной Россией.
5. источник информации - сайты www.fips.ru, www.freepatent.ru [19, 20].

В результате поиска были найдены следующие аналоги:

Аналог 1. Способ получения трехслойных листов и полос (патент РФ на изобретение №93016441 от 27.07.1995), включающий «получение биметаллической заготовки наплавкой плакирующего слоя из коррозионностойкой стали на заготовку основного слоя из углеродистой или низколегированной стали и последующую прокатку заготовки. Наплавляемая сталь, содержит, мас.

- Углерод 0,01-0,15
- Хром 15-28
- Азот 0,02-0,05
- Ниобий 5(C+0,5N) 2,0
- Ванадий 4N 0,5
- Железо остальное,

причем наплавку проводят с глубиной проплавления основного слоя 2-10 мм, а прокатку заканчивают в интервале температур 850-900°C» [21].

Аналог 2. Способ изготовления детали с наплавленным покрытием и деталь, изготовленная с использованием этого способа (патент РФ на изобретение №2255845 от 02.12.2003). В известном способе, «по меньшей мере, на части детали получают покрытие путем электродуговой наплавки плавящимся электродом с образованием, по меньшей мере, одного слоя. Упомянутый слой образуют из предварительно заданных, чередующихся, по меньшей мере, в одном направлении зон с различными коэффициентами линейного расширения входящих в него металлов. По меньшей мере, одна из зон слоя содержит металл с коэффициентом линейного расширения меньшим коэффициента линейного расширения основного металла детали. Образование слоя осуществляют путем заплавления предварительно изготовленных канавок или наложением валиков» [22].

Однако в данных изобретениях не рассматривается влияние на качество, соотношение теплопроводностей материала основного металла и материала наплавленного слоя.

Также был проведен поиск статей по данному направлению.

Известна статья «Плазменная наплавка высоколегированной стали 10x18н8т на низколегированную сталь 09Г2С». В данной статье проводилось исследование вариантов плазменной наплавки нержавеющей стали 10X18H8T на низколегированную сталь 09Г2С. Установлено, что:

1. «Плазменная наплавка позволяет получить наплавленный слой высокого качества.

2. При плазменной наплавке на токе прямой полярности структура наплавленного слоя и основного материала характерна для традиционных методов наплавки.

3. При плазменной наплавке на обратной полярности тока удается получить бездефектный наплавленный слой с мелкодисперсной игольчатой структурой высокой твердости.

4. Линия сплавления при наплавке на обратной полярности четкая, отсутствует перемешивание наплавленного и основного материала» [23].

Так же существует статья «Технологии наплавки легированной стали на основу из углеродистой стали». В данной статье проводились исследования изучение формирования слоя наплавки легированной стали на конструкционную углеродистую сталь. Так же рассмотрена возможность использования метода лазерной наплавки для улучшения поверхностных свойств металлов. По проведенным экспериментам было установлено, что на формирование наплавленной зоны оказывают влияние три технологических параметра лазерной обработки: плотность мощности, скорость перемещения лазерной головки и количество подаваемого порошка. Высота наплавки и глубина проплавления зависят в большей степени от количества подаваемого порошка [24].

Известна статья «Моделирование процессов формирования структуры сварных соединений разнородных сталей с использованием промежуточного слоя». В этой статье показаны результаты решения трехмерной задачи для определения типов конструкций и напряжений, которые могут возникать в процессе стыковой контактной сварки разнородных сталей через вставки из низкоуглеродистой стали. Использован метод конечных элементов для расчета сварных конструкций. Толщина вкладышей была основным переменным параметром. По результатам численного моделирования с использованием вставок можно повысить надежность сварных соединений между перлитной высокоуглеродистой сталью и аустенитной хромоникелевой сталью. Наилучший результат был получен при использовании вставки толщиной менее 20 мм. Структурные исследования сварных соединений между высокоуглеродистой сталью и хромоникелевой сталью через низкоуглеродистые вставки подтверждают результаты математического моделирования [25].

Металлургия сварки нержавеющей сталей [26]. В данной статье описываются исследования и даны рекомендации по сварке нержавеющей

стали разных типов - ферритная, мартенситная, аустенитная, дуплексная и дисперсионно-упрочняющая.

Влияние процесса сварки на микроструктуру неоднородных сварных соединений из углеродистой стали и нержавеющей стали [27]. В статье представлены достигаемые эффекты сварки посредством подачи тепла, на структурные характеристики сварного шва и зоны термического влияния. Также основное внимание уделяется структурным характеристикам сварного соединения, полученного с использованием порошковой проволоки T2312LPC/M1, и определено, как основные материалы участвуют в формировании сварного соединения.

1.6 Общие выводы и формулировка задач

Таким образом, при антикоррозионной наплавке на поверхность углеродистых сталей необходимо учесть возникающие трудности, вытекающие из особенностей материалов и определяющие выбор наплавляемого материала, способа наплавки и работоспособность наплавленного соединения: ухудшение свойств наплавленного слоя из-за перехода в него элементов основного металла, а также возникновения внутренних и поверхностных напряжений в наплавленных деталях, вследствие разности физических свойств материала основы и наплавленного материала, которые в свою очередь ведут к появлению деформаций и снижению конструктивных и эксплуатационных свойств изделий.

Причем, если значения коэффициентов линейного теплового расширения соединяемых деталей близки по значению, то процесс образования соединения осуществится с меньшими технологическими проблемами. При существенно больших величинах коэффициентах линейного расширения - на границах соединения возникают высокие термические напряжения.

Поэтому, чтобы повысить качество наплавки, следовательно, и конструктивные, и эксплуатационные свойства изделия необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику исследования влияния физических свойств используемых сварочных материалов на качество наплавки.
2. Провести исследования по разработанной методике.
3. Провести анализ и дать сравнительную оценку полученным результатам.
4. Предложить рекомендации по технологическому процессу наплавки, обеспечивающему оптимальное качество наплавленного металла.

2 Технологические особенности наплавки

2.1 Анализ способов наплавки

Наплавку используют в процессе восстановления изношенных изделий и создания металлического слоя на обрабатываемой поверхности изделия, причем наплавку осуществляют на разные поверхности. «Наплавку криволинейных поверхностей тел вращения выполняют тремя способами: наплавкой валиков вдоль образующей тела вращения; по окружностям; по винтовой линии. Наплавку по образующей выполняют отдельными валиками, как при наплавке плоских поверхностей. Наплавка по окружности. При винтовой наплавке деталь вращают непрерывно, при этом источник нагрева перемещается вдоль тела со скоростью, при которой одному обороту детали соответствует смещение источника нагрева, равное шагу наплавки. При наплавке тел вращения необходимо учитывать возможность стекания расплавленного металла в направлении вращения детали» [5] .

«Способы наплавки, как и способы сварки, классифицируются по трем типам признаков (ГОСТ 19621-74): физическим, техническим и технологическим. Наиболее распространена и удобна классификация по физическому признаку (используемый источник нагрева). По нему основные способы наплавки и наварки можно разделить на три группы: 1) термические (электродуговая, электрошлаковая, плазменная, электронно-лучевая, лазерная (световая), индукционная, газовая, печная); 2) термомеханические (контактная, прокаткой, экструдированием); 3) механические (взрывом, трением). В свою очередь, большинство из этих способов могут подразделяться по техническим (способ защиты металла в зоне наплавки, степень механизации процесса, непрерывность наплавки) и технологическим (по роду тока, количеству электродов, наличию внешнего воздействия и т. п.) признакам» [5].

«Электрошлаковая наплавка (ЭШН) – заключается в том, что основной и наплавляемый металлы расплавляются за счет выделения тепла в шлаковой

ванне при пропускании через нее электрического тока. Процесс осуществляется в вертикальном или наклонном, реже в горизонтальном положениях, как правило, с принудительным формированием наплавленного слоя. Способ применяется там, где требуется нанести слой металла большой толщины (свыше 10 мм)» [5].

В металлургии ЭШН применяется для наплавки прокатных валков, в производстве заготовок – для прокатки биметалла, в горнорудной промышленности – для восстановления зубьев ковшей экскаваторов, зубьев крупно-модульных шестерен, в машиностроении – для наплавки штампов.

Антикоррозионная наплавка лентами используется в атомном, энергетическом и нефтехимическом машиностроении.

«Электроконтактная наплавка (наварка). Соединение основного и присадочного металлов осуществляется в результате их совместной пластической деформации, сопровождающейся пропусканием в месте контакта импульсов тока. В качестве оборудования используются модернизированные машины для шовной контактной сварки. Присадочные материалы – стальная лента, проволока, порошки и их смеси. Применяется при ремонте и восстановлении валов, осей, штоков, фланцев, барабанов и прочих деталей, износ которых по диаметру не превышает 1,0...1,5 мм» [5].

Преимущества: отсутствие проплавления основного металла; минимальные деформации наплавленных деталей; возможность наплавки слоев малой толщины. Недостатки: низкая производительность процесса; ограниченная номенклатура наплавливаемых деталей.

«Электронно-лучевая наплавка. Использование для наплавки электронного луча позволяет отдельно регулировать нагрев и плавление основного и присадочного материалов, а также свести к минимуму их перемешивание. Наплавка производится с присадкой сплошной или порошковой проволоки. Поскольку наплавка выполняется в вакууме, то шихта порошковой проволоки может состоять из одних легирующих компонентов» [5].

Преимущества: малое и контролируемое проплавление основного металла, возможность наплавки слоев малой толщины.

Недостатки: сложность и высокая стоимость оборудования, необходимость защиты персонала от рентгеновского излучения.

Наплавка трехфазной дугой неплавящимися электродами в аргоне.

«В трехфазной дуге в каждый момент времени горят не менее двух дуг переменного тока. Способ применяется для наплавки изделий и алюминиевых и магниевых сплавов с подачей присадочной проволоки в зону сварки. Используется как источник тепла одновременно и для сварки, и для подогрева зоны наплавки межэлектродной (косвенной) дугой. Наиболее эффективен способ для ремонтной сварки и наплавки изделий из магниевых и алюминиевых сплавов, склонных к образованию горячих трещин в зоне ремонта» [5].

Преимущества: широкие технологические возможности, большая мощность дуги, стабильность и устойчивость горения фазных дуг, высокая производительность процесса, хорошее качество наплавленного слоя.

Недостатки: сложность и высокая стоимость оборудования, малая распространенность способа вследствие отсутствия промышленного производства оборудования для сварки трехфазной дугой.

Однако целесообразнее использовать основные способы наплавки, так, например в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности используют следующие основные способы наплавки:

1. ручная дуговая наплавка покрытыми штучными электродами;
2. автоматическая наплавка под флюсом ленточным или проволочным электродом;
3. ручная аргонодуговая наплавка неплавящимся электродом;
4. автоматическая аргонодуговая наплавка неплавящимся электродом.

Ручная дуговая наплавка покрытыми штучными электродами (рисунок 10) – является универсальным способом наплавки деталей

различной формы, может выполняться во всех пространственных положениях.

Легирование наплавленного металла осуществляется с помощью стержня электрода или через его покрытие. Электродное покрытие служит для защиты сварочной ванны от кислорода и легирования сварочной ванны химическими элементами, входящими в состав электрода.

«Режимы ручной дуговой наплавки характеризуются диаметром электрода, силой, родом и полярностью сварочного тока» [5]. Для наплавки используют электроды диаметром 3 – 6 мм (при толщине наплавленного слоя менее 1,5 мм применяют электроды диаметром 3 мм, при большей – диаметром 4–6 мм). Для обеспечения минимального проплавления основного металла при достаточной устойчивости дуги плотность тока должна составлять 11 – 12 А/мм².

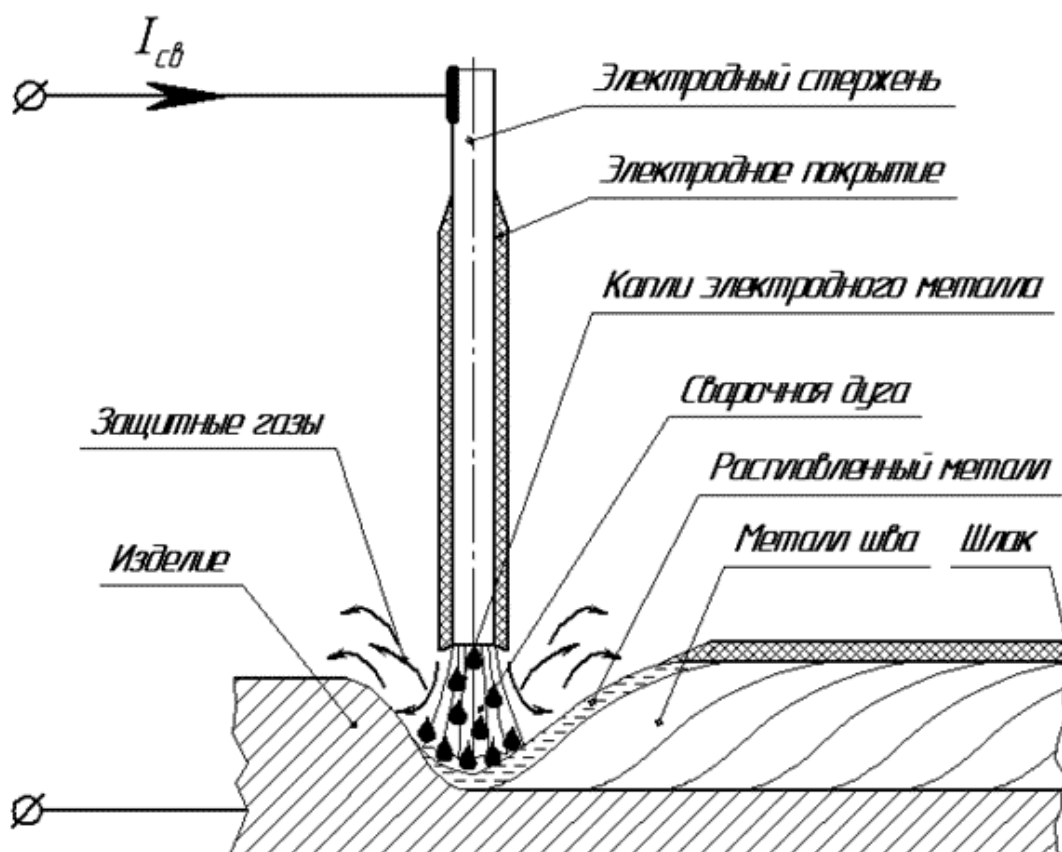
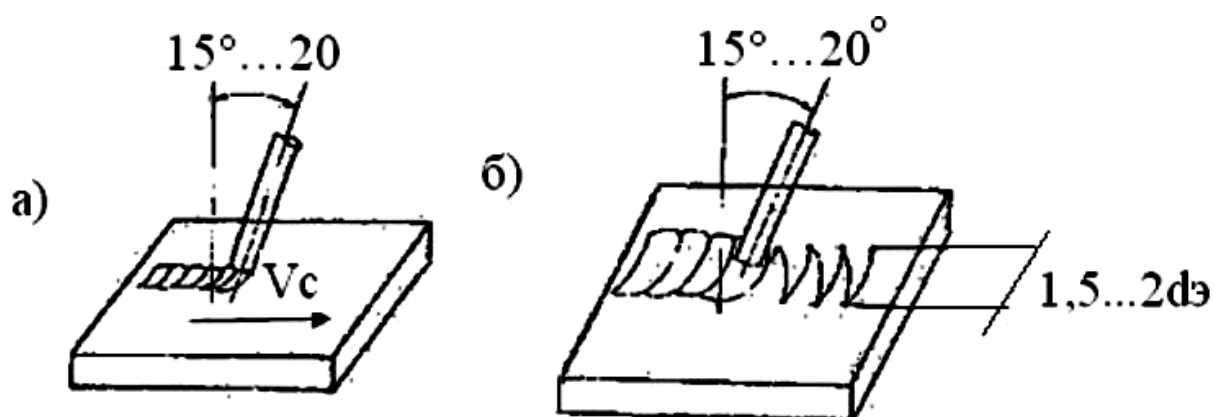


Рисунок 10 - Схема ручной дуговой наплавки покрытыми штучными электродами

«Во время наплавки электрод должен быть наклонен под углом $15...20^\circ$ к вертикали во избежание попадания жидкого шлака на еще не расплавленный основной металл. Наплавка должна осуществляться углом назад (рисунок 11, а). Для получения узкого валика шириной до $1,5$ диаметра электрода электрод перемещают прямолинейно без поперечных колебаний. Однако из-за высокой скорости охлаждения в металле наплавки могут остаться не успевшие выделиться газы и шлаковые включения. С целью устранения таких дефектов при наплавке накладываются более широкие валики, которые получают при поперечном перемещении конца электрода (рисунок 11, б). Такой прием увеличивает прогрев кромок валика и замедляет скорость охлаждения сварочной ванны, что уменьшает вероятность появления дефектов. Наплавка должна выполняться короткой дугой, валики накладывают так, чтобы каждый последующий перекрывал предыдущий на $1/2$ или $1/3$ своей ширины (рисунок 12). По высоте слой наплавленного металла устанавливается из расчета, чтобы припуск на механическую обработку составил $2...3$ мм. При окончании наплавки усадочный кратер необходимо выводить за пределы рабочей наплаваемой поверхности, используя для этой цели приставные планки. После наложения каждого валика с поверхности наплавки удаляются шлак и брызги металла» [5].



а) углом назад; б) с поперечными колебаниями

Рисунок 11 – Техника выполнения ручной наплавки

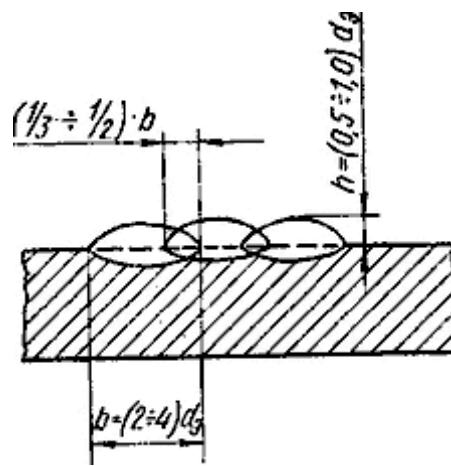


Рисунок 12 – Схема наплавки валиков

«Механизированная наплавка под флюсом цилиндрических и плоских деталей является развитием способов ручной наплавки электродами с толстыми качественными покрытиями. Этот способ был разработан коллективом под руководством академика Е.О. Патона в 1938–1939 гг.» [5].

Наплавка под слоем флюса (рисунок 13) - процесс, где сварочная дуга между сварочным электродом и металлической деталью защищается с помощью слоя расплавленного флюса - толщина слоя при этом может колебаться 20-40мм. Размер зерен флюса при этом составляет 0,5-3,5 мм. Расплавление флюса происходит при помощи той же сварочной дуги.

Данная защита ограждает жидкий металл от воздействия окружающего воздуха, предотвращая его окисления кислородом. Так же, слой флюса выполняет и еще одну задачу – он не позволяет расплавленному металлу разбрызгиваться и сохраняет тепло. Таким образом, флюс позволяет добиться экономии металла и повышает производительность труда сварщика [28].

При проведении наплавочных работ под слоем флюса, используется сварочная проволока, не имеющая покрытия. Диаметр проволоки выбирается в зависимости от задач, поставленных перед сварщиком, и может варьироваться от 1 до 6 мм.

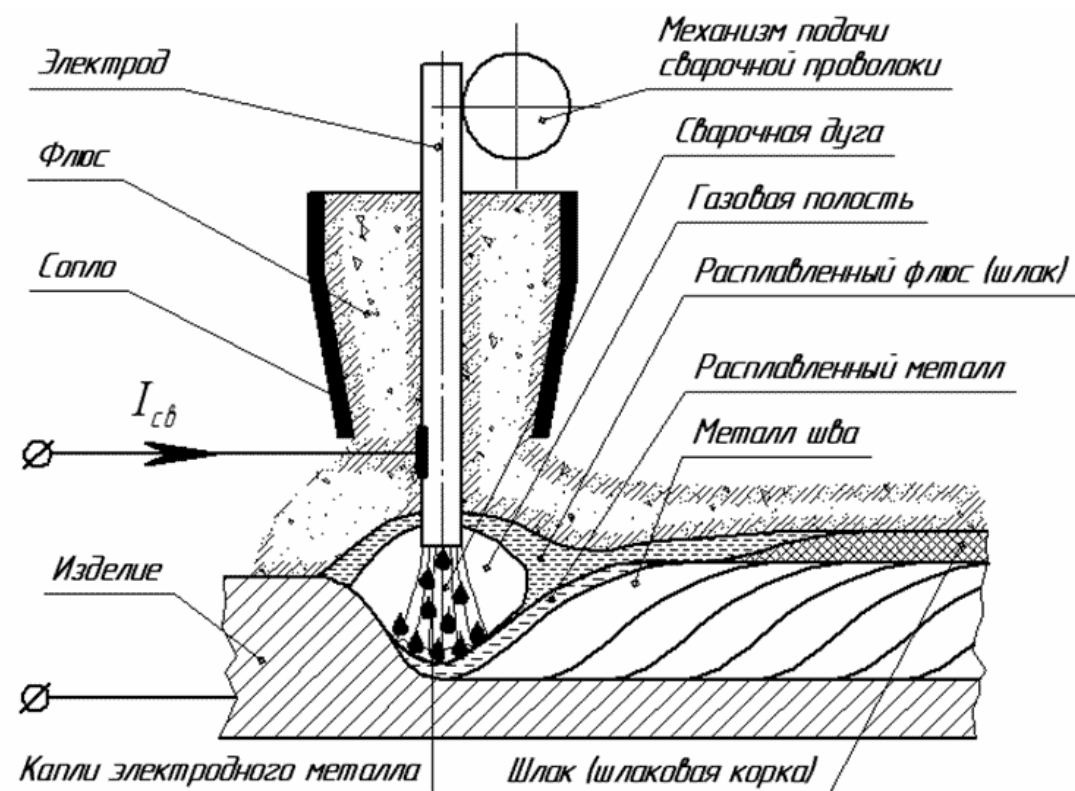


Рисунок 13 - Схема наплавки под слоем флюса

При наплавке применяется ток обратной полярностью – плюс от источника электрического тока подается на сварочную проволоку, а минус – на наплавляемую поверхность изделия. Для того, чтобы еще больше повысить производительность используются ленточные электроды или подачу сразу двух проволок в зону наплавки с помощью двух полуавтоматических приспособлений (рисунок 14).

После остывания сварочной ванны образуется наплавленный шов покрытый затвердевшей шлаковой коркой, которая удаляется с поверхности ударами шлако-отбойного молотка. При наплавке больших цилиндрических или конических изделий её удаляют специальными скребками.

«Исследования Института электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины показали, что при автоматической наплавке под слоем флюса можно вместо электродной проволоки использовать ленту малой толщины (0,3...1,0 мм) и большой ширины (10...100 мм и более)» [5].



Рисунок 14 - Установка УНВ-3-5

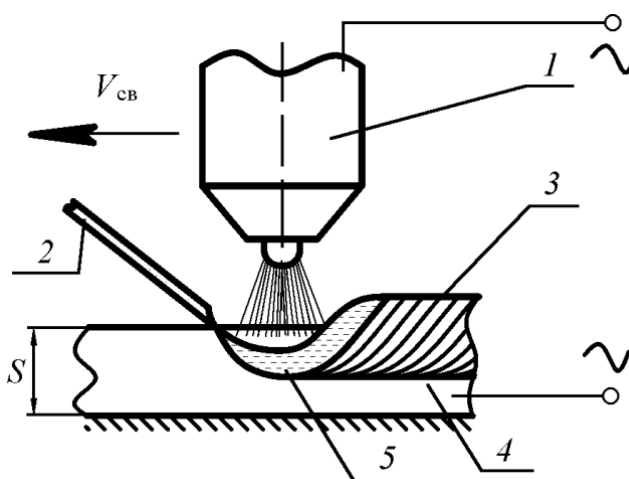
«При наплавке лентой получается малая глубина проплавления основного металла вследствие невысокой плотности тока и в то же время обеспечивается надежный провар. Доля участия основного металла в формировании наплавленного валика составляет от 5 до 15%. Высокая производительность процесса наплавки достигается за счет использования больших токов без увеличения глубины провара основного металла и наложения валика большой ширины за один проход. Минимальная плотность тока, определяемая отношением силы тока к площади поперечного сечения электродной ленты, обеспечивает устойчивый процесс наплавки» [5].

«В промышленности применяют различные способы электродуговой сварки и наплавки в среде защитных газов: в аргоне, гелии, углекислом газе. Эти способы во многих случаях позволяют восстанавливать или упрочнять поверхности изделий, наплавка которых другими способами затруднена. Кроме того, газэлектрическая сварка создает возможности для

автоматизации наплавочных работ там, где применение автоматической и полуавтоматической сварки под слоем флюса невозможно» [5].

Аргонодуговую наплавку (рисунок 15) используют при восстановлении и ремонте конструкций из различных материалов и их сочетаний. Толщина валика наплавки составляет от 1,5 мм до 3 мм. После наплавки деталь можно использовать без обработки или же предварительно зашлифовать. Применение инертного газа исключает необходимость использования флюса, поэтому аргонодуговую наплавку эффективно использовать при наплавке высоколегированных сталей, цветных металлов и других материалов, способных к быстрому окислению. Аргонодуговая наплавка используется при ремонте элементов трубопроводной арматуры и т.д.

Сущность наплавки в среде защитных газов, например как аргонодуговая наплавка, состоит в том, что в зону дуги подают защитный газ, в результате чего столб дуги, а также сварочная ванна защищается от кислорода. Высокую защиту жидкого металла при наплавке обеспечивают инертные газы, однако их применение ограничивается высокой стоимостью. Для автоматизации способа наплавки используют специальные установки, сварочные головки.



1 - сварочная горелка; 2 - присадочный материал; 3 - наплавленный слой; 4 — подложка; 5 - ванна расплавленного металла

Рисунок 15 - Схема аргонодуговой наплавки

При автоматической (рисунок 16) наплавке в технологии описывают тип электродного материала (проволока, лента: сплошного сечения, порошковая), значение силы тока, напряжение дуги, длину дуги, скорость наплавки.



Рисунок 16 – Установка для автоматической аргодуговой наплавки

Выбирая способ наплавки, вначале оценивают возможность его применения в данном конкретном случае, затем определяют возможность обеспечения технических требований, предъявляемых к наплавленному материалу, и, наконец, оценивают экономическую эффективность наплавки. При оценке экономической эффективности способа наплавки общую стоимость ручной дуговой наплавки принимают за 100%, наплавку под слоем флюса — 74 %.

Каждый из приведенных выше способов наплавки имеет свои особенности обусловленные преимуществами и недостатками, для наглядности сведены в одну таблицу 6 [5, 28, 29]

Таблица 6 – преимущества и недостатки основных способов наплавки

Способы наплавки	Преимущества	Недостатки
ручная дуговая наплавка покрытыми электродами	1) простота и доступность оборудования и технологии; 2) возможность получения наплавленного металла практически любой системы легирования	1) отсутствие возможности регулирования глубины проплавления металла и скорости плавления электрода; 2) зависимость качества сварки от индивидуальных особенностей сварщика
ручная аргодуговая наплавка неплавящимся электродом	1) можно получить относительно малый провар основного материала	1) относительно высокая покупная стоимость сварочных материалов; 2) зависимость качества сварки от индивидуальных особенностей сварщика
автоматическая наплавка под флюсом ленточным или проволочным электродом	1) не требуется высокие навыки и высокая квалификация сварщика 2) простота процесса	1) применяется только для изделий большого диаметра и с большой поверхностью; 2) большая зона нагрева; 3) ограничение глубины проплавления путем более плотной укладки наплавливаемых валиков; 4) большое проплавление основного металла, особенно при наплавке проволоками
автоматическая аргодуговая наплавка неплавящимся электродом	1) не требуется высокие навыки и высокая квалификация сварщика 2) простота процесса	1) более высокая стоимость оборудования

«Поэтому при наплавке должен выполняться ряд технологических требований.

1. Минимальное разбавление наплавленного слоя основным металлом, расплавляемым при наложении валиков. Поэтому в процессе наплавки

необходимо получение наплавленного слоя с минимальным проплавлением основного металла, так как в противном случае возрастает доля основного металла в формировании наплавленного слоя. Это приводит к ненужному разбавлению наплавленного металла расплавляемым основным.

2. Обеспечение минимальной зоны термического влияния и минимальных напряжений и деформаций. Это требование обеспечивается за счет уменьшения глубины проплавления, регулированием параметров режима, погонной энергии, увеличением вылета электрода, применением широкой электродной ленты и другими технологическими приемами. Технология наплавки различных поверхностей предусматривает ряд приемов нанесения наплавленного слоя

1. ниточными валиками с перекрытием один другого на 0,3...0,4 их ширины;

2. широкими валиками, полученными за счет поперечных к направлению оси валика колебаний электрода, электродными лентами» [5].

Однако выбор способа наплавки определяется возможностью получения наплавленного слоя требуемого состава и механических свойств, а также характером и допустимой величиной износа, так же на выбор способа наплавки оказывают влияние размеры и форма деталей, производительность и доля основного металла в наплавленном слое. Ручная дуговая наплавка штучными электродами является наиболее универсальным способом, пригодным для наплавки деталей различных сложных форм и может выполняться во всех пространственных положениях. Поэтому в качестве базового способа наплавки будем использовать ручную дуговую наплавку покрытыми электродами.

2.2 Анализ и выбор электродов для наплавки

«Электроды должны обеспечивать получение требуемых свойств поверхности детали должны обладать хорошими сварочно-технологическими

свойствами. Свойства наплавленного металла в основном определяются его химическим составом» [5]. Проанализированные основные материалы (сталь 30 и 08X18H10T) сильно отличаются степенью легирования, физико-химическими и механическими свойствами, а также свариваемостью.

Известно, что при сварке разнородных сталей появляются трещины и микротрещины в металле шва из-за возникновения по линии сплавления сварного соединения прослоек со структурной неоднородностью, приводящих к изменению прочностных и пластических характеристик, а также большим ростом остаточных напряжений из-за значительной разницы коэффициентов линейного расширения и других физических свойств свариваемых материалов.

Так при сварке разнородных сталей используются электроды для сварки высоколегированных сталей и легированных сталей повышенной и высокой прочности, обеспечивающих получение металла шва с наиболее благоприятной структурой. Поэтому для получения качественного покрытия, необходимо сформировать на поверхности углеродистых сталей поверхностные слои, соответствующие по химическому составу нержавеющей стали и физическим свойствам.

По проведенному анализу выпускаемых типов и марок покрытых отечественных и импортных электродов, были выбраны наиболее представительные для проведения эксперимента.

УОНИ 13/55 (Э50А) – сварка ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, когда к металлу шва предъявляют повышенные требования по пластичности и ударной вязкости. Обеспечивают получение металла шва с высокой хладостойкостью и низким содержанием водорода [30]. Сварку и наплавку ведут только короткой дугой. Прокатка перед сваркой: 350-380 °С, 1-2 часа. Ферритная фаза в наплавленном шве: 2-8%, средняя 4,7%.

Таблица 7 - Химический состав наплавленного металла сварочных электродов при сварке [31] В процентах

Химический элемент	Содержание
Углерод	не более 0,11
Сера	не более 0,03
Фосфор	не более 0,03
Марганец	0,6÷1,2
Кремний	0,2÷0,5

ОЗЛ-6 (10X25Н13Г2) – сварка конструкций из жаростойких сталей 10X23Н18, 20X23Н13, 20X23Н18 и др., работающих при температурах до 1000⁰С. Обеспечивают получение металла шва с высокой жаростойкостью до температуры 1000⁰С и стойкостью к межкристаллитной коррозии [30]. Прокатка перед сваркой: 190-210 °С, 1 час. Ферритная фаза в наплавленном шве: 2,5-10%, средняя 5,3%.

Таблица 8 - Химический состав наплавленного металла сварочных электродов при сварке [32] В процентах

Химический элемент	Содержание
Углерод	не более 0,12
Сера	не более 0,02
Фосфор	не более 0,03
Марганец	1,5÷2,5
Кремний	0,3÷0,8
Никель	12,5÷13,5
Хром	24,0÷27,0

ЦЛ-11 (08X20Н9Г2Б) – сварка конструкций из сталей 08X18Н10Т, 08X18Н12Т, 08X18Н12Б и др., работающих в агрессивных средах. Обеспечивают получение металла шва, стойкого к межкристаллитной

коррозии [30]. Прокалка перед сваркой: 190-210 °С, 1 час. Ферритная фаза в наплавленном шве: 2,5-10%, средняя 6,1%.

Таблица 9 - Химический состав наплавленного металла сварочных электродов при сварке [32] В процентах

Химический элемент	Содержание
Углерод	не более 0,12
Сера	не более 0,02
Фосфор	не более 0,03
Ниобий	0,7÷1,3 (но не менее 8%С)
Кремний	0,4÷1,3
Никель	8,0÷10,5
Хром	18,0÷22,0

ОК 68.15 (04X13) – сварка конструкций из хромистых сталей типа 08X13 и 12X13 и наплавки уплотнительных поверхностей стальной арматуры [30]. При сварке или наплавке получается коррозионностойкий ферритный наплавленный металл типа 04X13. Обеспечивает высокую стойкость сварных соединений в сернистых газах. Прокалка перед сваркой: 180-220 °С, 2 часа. Ферритная фаза в наплавленном шве: 3-7%

Таблица 10 - Химический состав наплавленного металла сварочных электродов при сварке [32] В процентах

Химический элемент	Содержание
Углерод	не более 0,6
Сера	не более 0,02
Фосфор	не более 0,03
Магний	0,3
Кремний	0,7

Продолжение таблицы 10

В процентах

Химический элемент	Содержание
Хром	12,9
Никель	0,6
Медь	0,2
Молибден	0,5

По подобранным типам электродов и на основе литературных источников были сведены наиболее значимы для настоящего исследования физические характеристики используемых материалов в таблицу 11.

Таблица 11 – Сводные физические характеристики используемых металлов [7]

Марка используемых материалов	Модуль упругости, $E \cdot 10^{-5}$ (МПа)	Коэффициент температурного (линейного) расширения, $\alpha \cdot 10^6$ (1/°C)	Коэффициент теплопроводности (теплоемкость материала), λ (Вт/(м·°C))
сталь 30 (изделие)	1,96	12,1 при 100 град	51
	1,58	15,2 при 800 град	30
08X18H10T (ориентир)	1,89	16,1 при 100 град	16
	1,35	18,2 при 800 град	28
Э50А, УОНИ 13/55	2,13	11,2 при 100 град	48
	1,23	13,4 при 800 град	27
10X25H13Г2, ОЗЛ-6	1,98	13,9 при 100 град	14,6
	1,49	17,3 при 800 град	25,1
08X20H9Г2Б,ЦЛ-11	2	11,8 при 100 град	15,6
	1,39	16,7 при 800 град	26,3
04X13,ОК 68.15	2,1	10,5 при 100 град	28
	1,68	12,8 при 800град	26

Известно, что возникновение напряжений в наплавленных деталях происходит в большинстве случаев из-за разности физических свойств основного и наплавленного материала, и как следствие появление деформаций и снижение эксплуатационных свойств конструкции в целом.

2.3 Обзор и выбор источника питания для наплавки

Требования к току и напряжению в процессе дуговой сварки значительно высокие, так как в дуговой сварке часто происходят короткие замыкания. Например, всякий раз, когда оператор прикасается электродом к работе, чтобы зажечь дугу, возникает короткое замыкание.

Точно так же происходит, когда расплавленные шарики металла шва пересекают дугу, возникают электрические короткие замыкания (около 20 нс в секунду). В условиях короткого замыкания потребляемый ток слишком высок, поскольку сопротивление падает до очень низкого значения.

Избыточное тепло, вызванное сильными скачками тока, приводит к чрезмерному разбрызгиванию и залипанию электрода. Хороший источник для дуговой сварки предназначен для ограничения этих мгновенных скачков тока.

При наличии короткого замыкания напряжение падает почти до нуля, но когда оно устранено, требуется значительное напряжение, чтобы сохранить работоспособность. Точно так же, если длина дуги быстро изменяется, мгновенно требуется адекватное восстановление напряжения.

Таким образом, источник электропитания дуговой сварки должен обеспечивать достаточный ток в зависимости от размера электрода, подходящего напряжения для зажигания и поддержания дуги и подходящих характеристик для обеспечения стабильности дуги.

В зависимости от вида энергии и характере преобразования различают следующие типы источников питания [33]:

Трансформатор служит для понижения переменного напряжения (рисунок 17). В промышленности выпускают однопостовые сварочные трансформаторы.

Источник питания может иметь ВАХ возрастающую, жесткую, падающую. Ручная дуговая сварка имеет падающую ВАХ [33].

Конструкция сварочного трансформатора состоит из нескольких частей. Магнитопровод - стальной сердечник состоящий из пластин с двумя изолированными обмотками. Подключение первичной обмотки осуществляется к сети, напряжением 220 или 380 вольт. Один конец вторичной обмотки подключается к держателю, а второй конец подводится к свариваемой детали. Вторичная обмотка разделена на подвижную катушку (играет роль дросселя) управляющую током. Дроссельная обмотка перемещается вдоль магнитопровода с помощью винта управления. Параметры сварочного тока определяются воздушным зазором между подвижным элементом вторичной обмотки и первичной обмоткой. Если изменяется ток, то изменяется и воздушный зазор. При увеличении зазора, увеличивается и значение сварочного тока. Регулировки могут осуществляться в диапазоне 60-400 ампер. На всех аппаратах установлена защита от возможных коротких замыканий.



Рисунок 17 - Сварочный трансформатор ТДМ-259

Примерные характеристики сварочного трансформатора:

1. Напряжение сети (В) – 220.
2. Частота сети (Гц) – 50.
3. Ток сварки (А) – 160.
4. Регулирование тока (А) – 50...160.

5. Напряжение XX (В) – 40...50.

6. Масса (кг) – 24.

7. Габариты (мм) – 280x280x400.

Преимущества: легкость регулировок параметров сварки и легкость в эксплуатации.

Недостатки: для того чтобы подключить трансформатор необходимы специальные сварочные кабели и иметь определенную квалификацию (должен подключать специалист), выход из строя механических деталей (может привести к остановке всего процесса).

Выпрямитель (рисунок 18) преобразует энергию переменного тока в постоянную. Принцип работы: ток подается на первичную обмотку трансформатора понижающего типа. За счет электромагнитной индукции происходит процесс понижения значения напряжения и повышения силы тока на вторичной обмотке. Встроенные датчики контролируют напряжение, которые могут отключить устройство при высоком значении напряжения. Регулятором можно выбирать напряжение в зависимости от толщины свариваемого металла.

При использовании сварочного выпрямителя получается качественный шов, процесс сварки стабильный из-за стабильного горения дуги. Недостатки выпрямителя - высокая стоимость и громоздкость.



Рисунок 18 - Сварочный выпрямитель ВД 306

Примерные характеристики сварочного трансформатора:

1. Напряжение сети (В) – 380.
2. Регулирование тока (А) – 60...315.
3. Рабочее напряжение ХХ (В) – 32.
4. Диаметр электрода (мм) – 2...6.
5. Масса (кг) – 100.
6. Габариты (мм) – 645x505x560.

Генератор (рисунок 19) преобразует энергию вращения вала в постоянный ток. Якорь, вращаемый при помощи двигателя, вырабатывает электрическую энергию с постоянными характеристиками, что позволяет обеспечить стабильную и непрерывную дугу.

Достоинства и недостатки. Менее чувствительны к колебаниям напряжения в сети, в отличие от трансформаторов. Высокая стабильность дуги. Необходимость регулярно проводить техническое обслуживание, так как в конструкции имеются быстро вращающиеся детали. Технические характеристики низкие, по сравнению с трансформаторами. Генератор по размеру довольно большой, что неудобно для транспортировки.



Рисунок 19 - Сварочный генератор

В современном сварочном производстве вместо громоздких сварочных трансформаторов, генераторов и выпрямителей используются сварочные инверторы. В инверторе сила сварочного тока необходимой величины достигается путем преобразования высокочастотных токов, а не путем преобразования ЭДС в катушке индукции как это происходит в трансформаторных аппаратах.

Принцип работы источника питания инверторного типа (рисунок 20): переменный ток из сети поступает на первичный выпрямитель, происходит его преобразование в постоянный. После постоянного ток сглаживается при помощи специального фильтра и поступает на инвертор, в инверторе ток преобразуется в переменный, но уже с более высокой частотой, далее трансформатор понижает напряжение переменного высокочастотного тока, что дает возможность увеличить его силу. В связи с этим инверторный источник позволяет формировать сварочный ток с большим диапазоном характеристик [33].

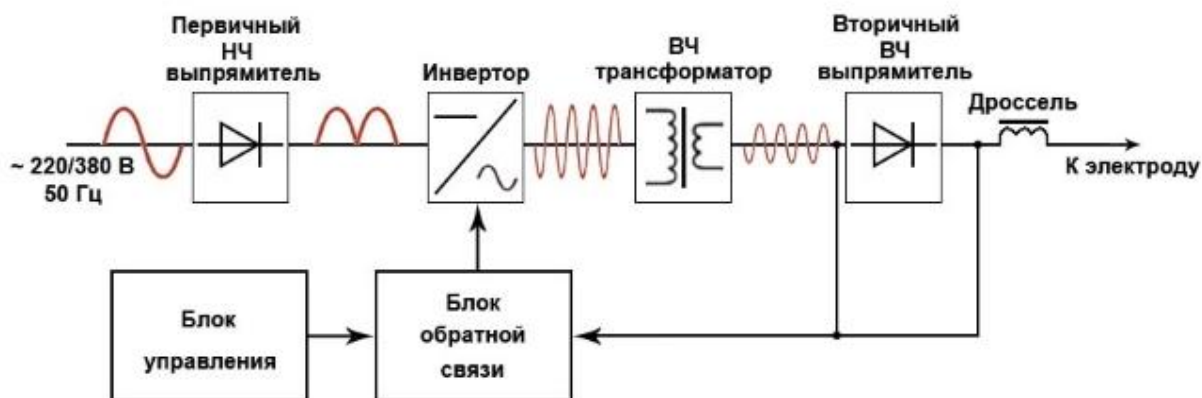


Рисунок 20 - Блок-схема сварочного аппарата инверторного типа

Используя сварочный аппарат инверторного типа сварщик низкой квалификации получает качественный сварочный шов, так как осуществляется обратная связь со сварочной дугой, параметры которой контролируются программируемыми блоками и при отклонении значений от оптимальных, ключевые параметры мгновенно корректируются.

В связи выше изложенным при экспериментах будет использоваться сварочный инвертор KEMPPИ Master MLS 3500.

Сварочный аппарат KEMPPИ Master MLS 3500 (рисунок 21) предназначен в целом для ручной дуговой сварки штучными электродами. Высокие технические показатели аппарата обеспечивают достаточную производительность для выполнения сварочных (наплавочных) работ (таблица 12 и 13) [34,35].



Рисунок 21 - Сварочный инвертор kemppi Master MLS 3500

Таблица 12 - Технические характеристики KEMPPИ Master MLS 3500 [34]

Характеристика	Значение
Напряжение питания, 50/60 Гц	380 В
Номинальная мощность при макс. токе MMA	15 кВА
Номинальная мощность при макс. токе TIG	13,8 кВА
Сетевой кабель H07RN-F	4G1.5 (5 м)
Предохранитель с задержкой срабатывания	16 А
Нагрузка при 40 °С ПВ 40 %	350 А/34 В (400 А/26 В TIG)
Нагрузка при 40 °С ПВ 100%	220 А/28,8 В
Диапазон сварочных токов и напряжений MMA	10 А/20,5 В...350 А/34 В

Продолжение таблицы 12

Характеристика	Значение
Диапазон сварочных токов и напряжений TIG	5 А/10 В...400 А/26 В
Напряжение холостого хода	80 В
Коэффициент мощности при ПВ 100 % (cos φ)	0,95
КПД при ПВ 100 %	86 %
Штучный электрод ø	1,5...6,0 мм
Габаритные размеры Д x Ш x В	500 x 180 x 390 мм
Масса	21 кг

Таблица 13 - Особенности KEMPPi Master MLS 3500

Возможности/Особенности	Преимущества
Компактность и мобильность	Легкая транспортировка, удобство доступа к месту выполнения сварочных/наплавочных работ даже в ограниченном пространстве
Возможность работы от генератора	Сварочный аппарат может быть использован вдали от электросетей
Индивидуальная настройка параметров	Регулировать характеристики в точном соответствии с конкретной сварочной операцией.
Цифровая индикация показателей	Возможность легко контролировать основные параметры
Качество сварочных работ	Обеспечивает хорошее зажигание дуги и стабильные характеристики сварки
Высокое значение ПВ	Возможность работы без перегрева длительное время
Экономичность, энергоэффективность	Низкое энергопотребление и высокий К.П.Д.

Высокие характеристики оборудования обеспечивают достаточную производительность для выполнения сварочных (наплавочных) работ, а микропроцессорное управление обеспечивает устойчивую обратную связь тока и напряжения на дуге с выходными параметрами аппарата -при

зажигании дуги аппарат генерирует дополнительный импульс тока (так называемый "горячий старт"), а при коротком замыкании сварочный ток сразу отключается - то есть "приморозить" электрод практически невозможно [34].

3 Методика проведения исследования

Перечень оборудования и материалов для наплавки:

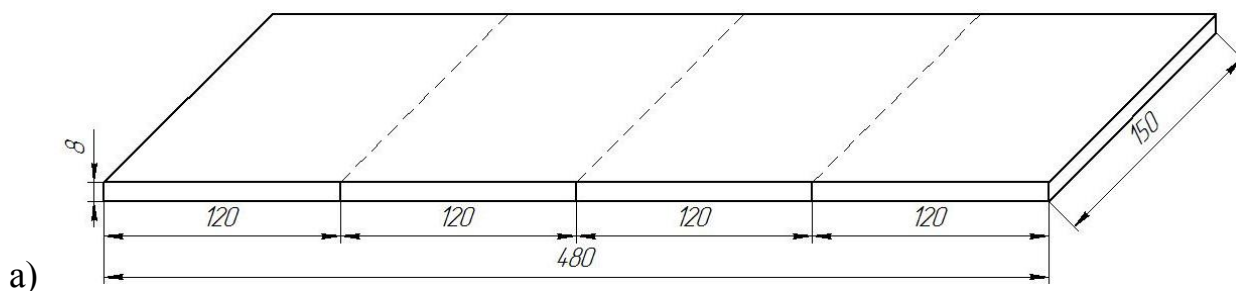
источник питания инверторного типа КЕМРПИ Master MLS 3500, электрододержатель со сварочным кабелем, стальные покрытые электроды с основным покрытием (ESAB ОК 68.15 $d = 3,2$ мм, ЦЛ – 11 $d = 3,0$ мм, ОЗЛ – 6 $d = 3,0$ мм, УОНИ – 13/55 $d = 3,0$ мм), сушильный шкаф – печь для сушки электродов, технологическое сборочно-сварочное приспособление, маска сварщика, лист стали 30 (размером 8x480x150 мм), штангенциркуль, линейка металлическая, ацетон, ветошь, металлическая щетка, шлакоотбойный молоток, лупа.

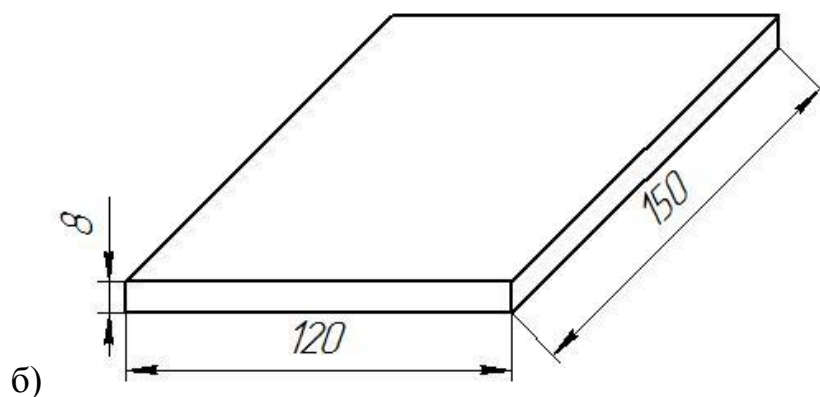
Технологический процесс наплавки состоит из следующих пунктов:

1. подготовки поверхности основного металла (детали) к наплавке;
2. подготовки к наплавке вспомогательных материалов;
3. сборки (закрепление прижимом подготовленных) деталей под наплавку;
4. наплавка;
5. контроль качества наплавленного материала.

3.1 Подготовка поверхности основного металла к наплавке

Лист стали 30 размером 8x480x150 мм с помощью угольника и карандаша разметить и вырезать с помощью механических ножниц четыре образца параметрами 8x120x150 мм (рисунок 22).





а) лист для заготовок; б) заготовки для наплавки

Рисунок 22 – Заготовки для исследований

После резки поверхности заготовок перед наплавкой механически обработать металлической щеткой (шероховатость поверхности R_a не более 12,5 мкм), для снятия окалины, ржавчины, следов масла и грязи, затем обезжирить ацетоном и протереть ветошью. Присутствие даже небольших частичек загрязнений может привести к пористости и растрескиванию металла шва, в результате этого снижается надежность сварки (наплавки) и ее прочность.

3.2 Подготовка к наплавке вспомогательных материалов

Перед наплавкой необходимо произвести прокалку сварочных электродов. Сущность прокали электродов перед их применением является в уменьшении количество влаги в их покрытии. Чем больше влаги в покрытии, тем сложнее поджечь электрод, и при сварочных работах электрод «прилипает» к изделию, происходит растрескивание и обсыпание электродного покрытия. Все это приводит к ухудшению качества работы, поэтому, перед проведением имеющиеся расходные материалы предварительно подготовить их.

Электроды с основным покрытием марок ESAB ОК 68.15 типа 04X13, ЦЛ – 11 типа Э-08X20Н9Г2Б, ОЗЛ – 6 типа Э-10X25Н13Г2, УОНИ – 13/55 типа Э50А прокалить в печи ЭПСЭ 50/400 (рисунок 23) при рекомендуемой температуре прокали заводом изготовителем. Печь ЭПСЭ-50/400

(220 В) предназначена для сушки и прокали электродов в диапазоне температур от 100 до 400 °С. Общий вес электродов в печи не должен превышать 50 кг. Для настройки параметров сушки используется блок управления с терморегулятором.



Рисунок 23 - Печь ЭПСЭ 50/400 для сушки электродов

Режимы прокали электродов:

1. Электроды для сварки высоколегированных сталей марки ESAB ОК 68.15 типа 06X13 следует прокалить при температуре 180-220°С в течение 2ч.

2. Электроды марки ЦЛ – 11 типа Э-08X20Н9Г2Б и марки ОЗЛ – 6 типа Э-10X25Н13Г2 прокалить при температуре 190-210°С в течении 1 ч.

3. Электроды для сварки углеродистых сталей марки УОНИИ – 13/55 типа Э50А прокалить при температуре 350-380°С в течении 1-2 ч.

Режим прокаливания зависит от покрытия электродов и в большинстве случаев указывается на упаковке. Необходимо соблюдать все рекомендуемые требования по прокалке, в противном случае вспомогательные материалы будут недосушенными или пересушенными, что отрицательно скажется на качестве сварного и наплавочного шва.

3.3 Сборка детали под наплавку

После завершения подготовки поверхности металла под наплавку,

подготовленные образцы закрепить на столе, оборудованном под сварку (наплавку), с помощью прижимов струбцинного типа - для предотвращения смещения образца во время наплавочных работ (рисунок 24).



Рисунок 24 - Технологическая оснастка

3.4 Наплавка

Процесс наплавки начать с возбуждения дуги методом короткого замыкания - или легким касанием торца электрода свариваемого места и быстрым отводе его вверх на 3-4 мм, или «чирканьем» электродом по месту зажигания дуги и также соответственном отводе его от металла. Прикосновение электрода к изделию должно быть кратковременным, иначе электрод приваривается к свариваемому металлу.

Выполнить наплавку вдоль и посередине пластины одиночным валиком (рисунок 25) длиной 100 мм ниточным швом одного подготовленного образца электродом ЦЛ-11 типа Э-08Х20Н9Г2Б диаметром 3 мм и силой сварочного тока 86-88А.

Аналогично выполнить наплавку одиночного валика на втором подготовленном образце электродом ОЗЛ-6 типа Э-10Х25Н13Г2 диаметром 3 мм и силой сварочного тока 86-88А.

Аналогично выполнить наплавку вдоль и посередине пластины одиночным валиком длиной 100 мм ниточным швом на третьем подготовленном образце электродом УОНИИ 13/55 типа Э50А диаметром 3 мм и силой сварочного тока 86-88А.

Затем выполнить наплавку одиночного валика на четвертом подготовленном образце электродом ESAB ОК 68.15 типа 04Х13 электродом диаметром 3,2 мм и силой сварочного тока 86-88А.

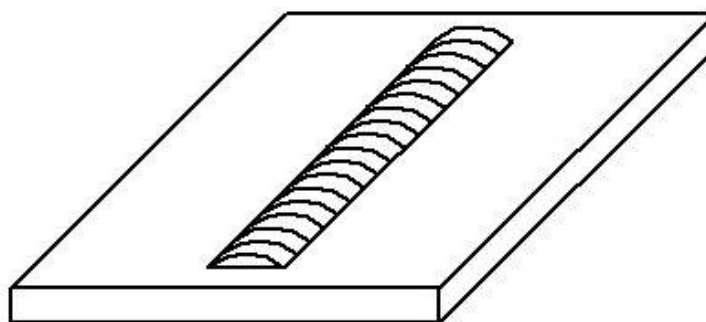


Рисунок 25 – Схематическое изображение наплавки

Наплавку всеми электродами произвести на постоянном токе обратной полярности (на электроде плюс, а на изделии минус) короткой дугой (расстояние между электродами сварочными и поверхностью изделия – примерно 50% диаметра сварочного электрода, т.е 1.5 мм). При короткой длине дуга горит устойчиво и спокойно. Она обеспечивает получение высококачественного шва. В противном случае дуга будет гореть неустойчиво, жидкий металл электрода разбрызгиваться и окисляться при взаимодействии с воздухом. Шов получится бесформенным, глубина проплавления основного металла недостаточная, а металл шва будет содержать большое количество окислов.

Так же, при наплавке необходимо стремиться к меньшему проплавлению основного металла, в противном случае будет возрастать доля основного металла в формировании наплавленного слоя и это приводит к ненужному разбавлению наплавленного металла расплавляемым основным. Угол наклона электрода к поверхности пластины при наплавке обеспечить

70-75°. Ширина колебаний относительно оси шва не должна превышать двух-трех диаметров электрода, а сами колебания выполнить по зигзагу.

После наплавки дать остыть образцам на воздухе и произвести очистку образцов путем выбивки шлака молотком сварщика – шлакоотбойный молоток, а затем зачистить металлической щеткой.

3.5 Контроль качества наплавленного материала

После проведения наплавки на поверхность заготовок произвести визуальный контроль качества наплавки с целью выявления возможных отслоений, трещин, подрезов, большой и грубой величины чешуйчатости, а также поверхностных пор при помощи вспомогательного инструмента: набором для визуального и измерительного контроля (лупа, линейка, УШС). При осмотре образцов освещенность должна быть не менее 500 лм.

3.6 Исследование наплавки

При удовлетворительном качестве наплавки разрезать образец надвое посередине поперек наплавочному шву. Полученные образцы промаркировать по краям несмываемым маркером в следующем порядке:

- образец 1: 1-1, 1-2;
- образец 2: 2-1, 2-2;
- образец 3: 3-1, 3-2;
- образец 4: 4-1, 4-2.

Образцы с номерами 1-1; 2-1; 3-1; 4-1 подготовить к макроструктурному испытанию. Срез необходимо отполировать с помощью шлифовальной бумаги – мелкой шкуркой таким образом, чтобы не происходило нагрева поверхности (обработка не должна приводить к изменению состояния материала, а вместе с тем к изменению твердости). Подготовленные образцы протравить путём втирания реактива (соляная кислота и вода) ватным тампоном. Травить в течение 2 минуты, после чего

образцы промыть в воде и/или в водном растворе соды и высушивают фильтровальной бумагой. Провести макроструктурное испытание с помощью лупы (или микроскопа в режиме макро), а также фотоаппарата (в режиме макро).

Образцы с номерами 1-2; 2-2; 3-2; 4-2 подвергнуть механической обработке. Выполнить механическую обработку наплавленной поверхности шлифовальной машинкой не допуская перегрева металла с целью выравнивания наплавленного верхнего участка металла шва с основным.

После механической обработки зачистить и отполировать обработанные поверхности мелкой шкуркой и произвести исследование макроструктуры образцов с помощью увеличительной лупы (или микроскопа в режиме макро), а также фотоаппарата (в режиме макро).

По результатам исследования:

1. сделать анализ полученных результатов;
2. дать рекомендации по технологическому процессу наплавки, обеспечивающему оптимальное качество наплавленного металла.

4 Результаты исследования

Исследовалось влияние разности физических свойств основного и наплавленного материала, и как следствие выявление микротрещин в готовом изделии.

Влияние разности физических свойств осуществлялось на образцах из стали 30 размерами 150x120x8 мм. В качестве наплавочного материала использовались электроды с основным видом покрытия ЦЛ-11, ОЗЛ-6, УОНИ 13/55, ОК 68.15 диаметром 3 и 3,2 мм. Подготовка поверхности основного и наплавляемого материала осуществлялась согласно п.3.1 и 3.2. Наплавка производилась в оснащённом для сварочных и наплавочных работ посту (рисунок 26). Данный пост оснащён рубильником для включения/выключения источника питания, а также вытяжным шкафом для удаления выделяющихся при сварке плавлением газов. Для защиты глаз от излучения сварочной дуги использовалась сварочная маска. Инструментом для сварки являлся электрододержатель пасатижного типа, и служил для закрепления штучного электрода и подвода к нему сварочного тока с помощью гибких кабелей. Ещё один кабель, с зажимом на конце, именуемый массой (клемма заземления) крепился к стальной заготовке. При помощи этих двух кабелей производилась сварка (наплавка) металла. Все кабели подсоединялись к источнику питания инверторного типа КЕМРПИ Master MLS 3500. После наплавка производилась на выставленном сварочном токе 86-88А.

При работе с электроустановочным оборудованием для защиты использовались коврики резиновые диэлектрические. Так же использовались стальная щетка для зачистки кромок образцов перед сваркой и удаления с поверхности швов остатков шлака, молоток-шлакоотделитель для удаления шлаковой корки и брызг металла, угольник для разметки.

Для предотвращения смещения образца во время наплавочных работ применялось специальное зажимное струбцинового типа приспособление (рисунок 24).

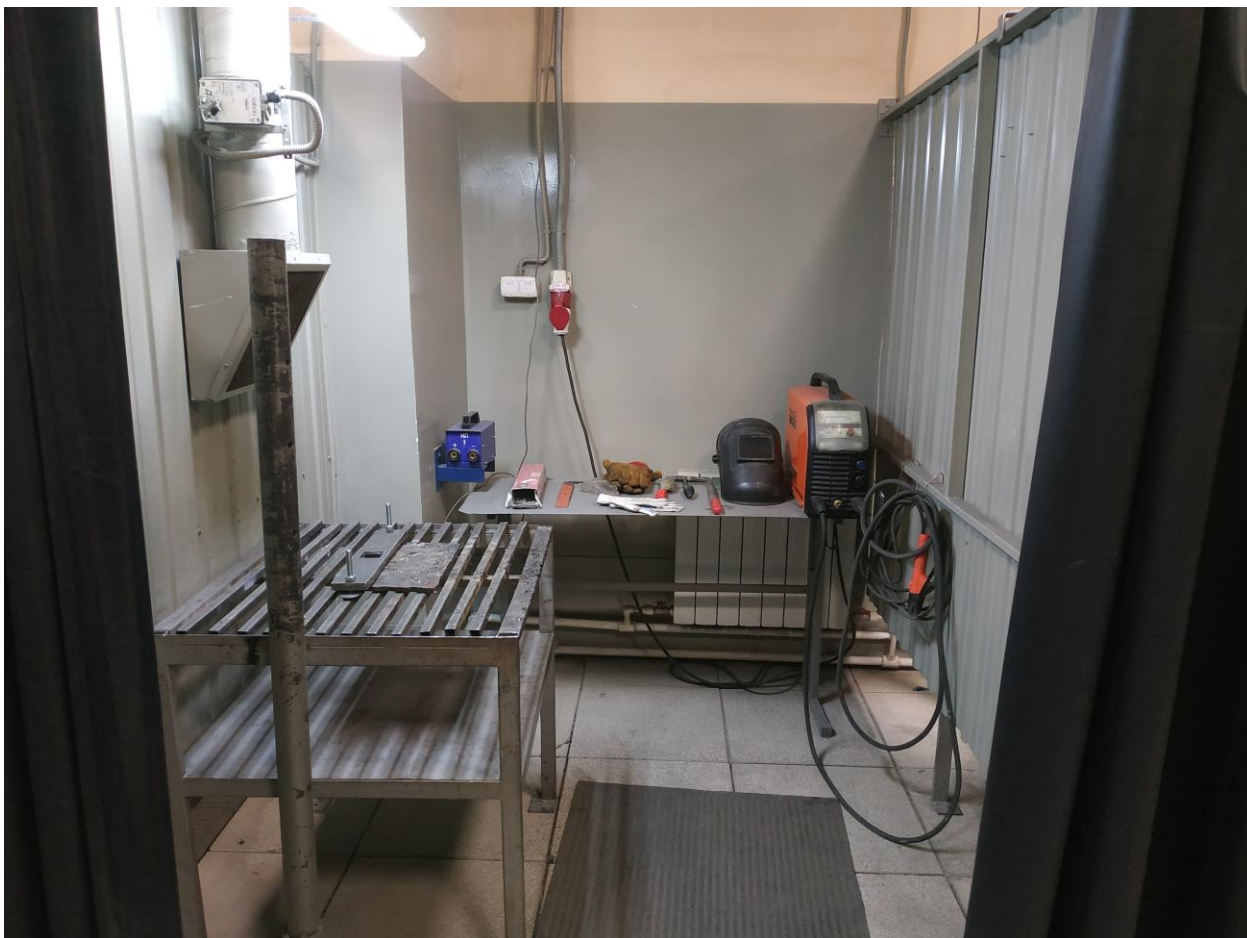


Рисунок 26 - Сварочный пост/кабина

После наплавки был произведен визуальный контроль и макроисследование поперечного сечения наплавки.



4.1 Визуальный контроль выполненной наплавки и его результаты

После сварки образцы промаркировать несмываемым маркером в зависимости от применяемых наплавочных материалов (таблица 14):

- образец № 1-1вверху пластины и 1-2 внизу - ЦЛ-11;
- образец № 2-1вверху пластины и 2-2 внизу - ОЗЛ-6;
- образец № 3-1вверху пластины и 3-2 внизу - УОНИ 13/55;
- образец № 4-1вверху пластины и 4-2 внизу - ОК 68.15.

После произвести визуальный контроль с помощью лупы, линейки, штангенциркуля и УШС (рисунок 27), на выявление поверхностных дефектов, таких как трещины поверхностные и отслоения, подрезы, поры, прожоги, наплывы, а также геометрию швов, распределение чешуек, западание валиков и общий характер распределения металла в усилении шва.

Таблица 14 – Исследуемые образцы

Исследуемые образцы	Сведения о режимах и применяемых материалах
	<p>Образец №1 Электроды ЦЛ-11, типа Э-08Х20Н9Г2Б ток сварки 86-87А, напряжение 24,9-25,2 В, напряжение хх = 80,2 В. Длина наплавленного шва 120 мм.</p>
	<p>Образец №2 Электроды ОЗЛ-6, типа Э-10Х25Н13Г2 ток сварки 86-87А, напряжение 24,3-25 В, напряжение хх = 80,2 В. Длина наплавленного шва 115 мм</p>

Продолжение таблицы 14



Исследуемые образцы	Сведения о режимах и применяемых материалах
	<p>Образец №3 Электроды УОНИ 13/55, типа Э50А ток сварки 86-87А, напряжение 23,9-24,2 В, напряжение хх = 80,2 В. Длина наплавленного шва 110мм</p>
	<p>Образец №4 Электроды ОК 68.15, типа 04Х13 ток сварки 86-87А, напряжение 23,5-24 В, напряжение хх = 80,2 В. Длина наплавленного шва 110мм</p>



Рисунок 27 - Набор для проведения визуального контроля

Как известно распределение и равномерность чешуек зависит от колебания мощности дуги, частые обрывы и неустойчивость горения дуги в процессе сварки. Во всех образцах чешуйчатость минимальна и не превышает 1,0 мм.

Глубина проплавления основного металла составила 1-2 мм, ширина прохода 5-6 мм, высота наплавленного валика за один проход 2 мм.

На образце № 1 в двух участках сварного шва наблюдается уменьшение ширины шва и его высоты, это связано с большой на этих участках скоростью сварки (сварочный ток был задан).

На образце №2 наблюдаются подрезы, неконтролируемая длина дуги (сварочный ток был задан).

На образцах №2 и №3 наблюдаются кратеры, которые характеризуют резкий обрыв дуги после сварки.

На всех образцах на поверхности металла (рисунок 28) наблюдаются цвета побежалости, эти образования связаны с воздействием источника тепла – сварочной дуги на поверхность металла и не являются дефектом (по РД 03-606-03), как известно при сварке материал нагревается и после охлаждается в процессе перемещения сварочной дуги, и появляются при температуре от 400 °С до 200 °С [35].



Образец №2



Образец №1



Образец №3



Образец №4

Рисунок 28 – Поверхность наплавки

Проведенные исследования показали, что при выбранных режимах наплавки формировался валик со стабильными геометрическими параметрами. Видимых дефектов, в том числе трещин и отслоений не наблюдалось.

После проведенного визуального контроля была произведена подготовка образцов для макроструктурного анализа наплавленных валиков на границе основного и наплавленного слоев.

4.2 Подготовка образцов для макроструктурного анализа

Каждый образец после проведенного визуального контроля был разрезан угловой шлифовальной машинкой (УШМ) на два образца. Из одной половины образцов были изготовлены так же УШМ маленькие образцы (размеры 35x15x8мм) для макроструктурного исследования – изучения строения наплавленного шва и основного металла, а из второй половины - наплавочный валик был срезан до уровня поверхности основного металла (рисунок 29). В процессе резанья не допускался перегрев металла.

После механической обработке поперечные и продольные поверхности образцов предварительно зачищались и полировались (различными номерами шлифовальной бумаги – 10, 6, 5, 3). Затем очищались от грязи ветошью и обезжирились ацетоном.



Рисунок 29 – Подготовка поверхности к макроанализу

4.3 Проведение макроструктурного анализа и его результаты

Подготовленные образцы после полировки протравить путём втирания реактива (соляная кислота и вода) ватным тампоном. Травить в течение 2 минуты, после чего образцы промыть в воде и/или в водном растворе соды и высушивают фильтровальной бумагой.

Травить образцы необходимо для подготовки к макроструктурному исследованию, подготовленные образцы называются макрошлифами. Исследование проводится для выявления дефектов, нарушающих сплошность металла (трещины, поры), так же и для выявления границы между основным и наплавленным металлом, зону термического влияния, а также строение наплавленного металла.

Затем с помощью микроскопа МБС-2 (рисунок 30) и видеорегистратора «Левенгук» соединенного с компьютером был проведен макроанализ образцов (рисунок 31).



Рисунок 30 – Микроскоп МБС-2

Основные характеристики микроскопа МБС-2:

увеличение: 3,5—88х; поле зрения: 39—2,6 мм; свободное расстояние (при всех увеличениях): 64 мм; источник света — лампа СЦ61 (8 в, 20 вт); питание лампы осуществляется через понижающий трансформатор от сети переменного тока напряжением 127—220/8 в; габаритные размеры 400х245х460 мм; вес 17,5 кг.



Рисунок 31 – Рабочее место проведения макроструктурного анализа

Известно, что при нагреве детали по мере повышения температуры металл испытывает ряд превращений – структурные и фазовые. При сварке вызывают понижение технологической прочности, механических и эксплуатационных свойств металла сварных соединений, что в совокупности с высокими сварочными напряжениями и деформациями может служить причиной образования трещин.

Ориентируясь на максимальную температуру нагрева, в сварном соединении сталей можно выделить несколько участков, в пределах которых происходят или могут произойти определенные фазовые и структурные превращения (рисунок 32) [6, 36].

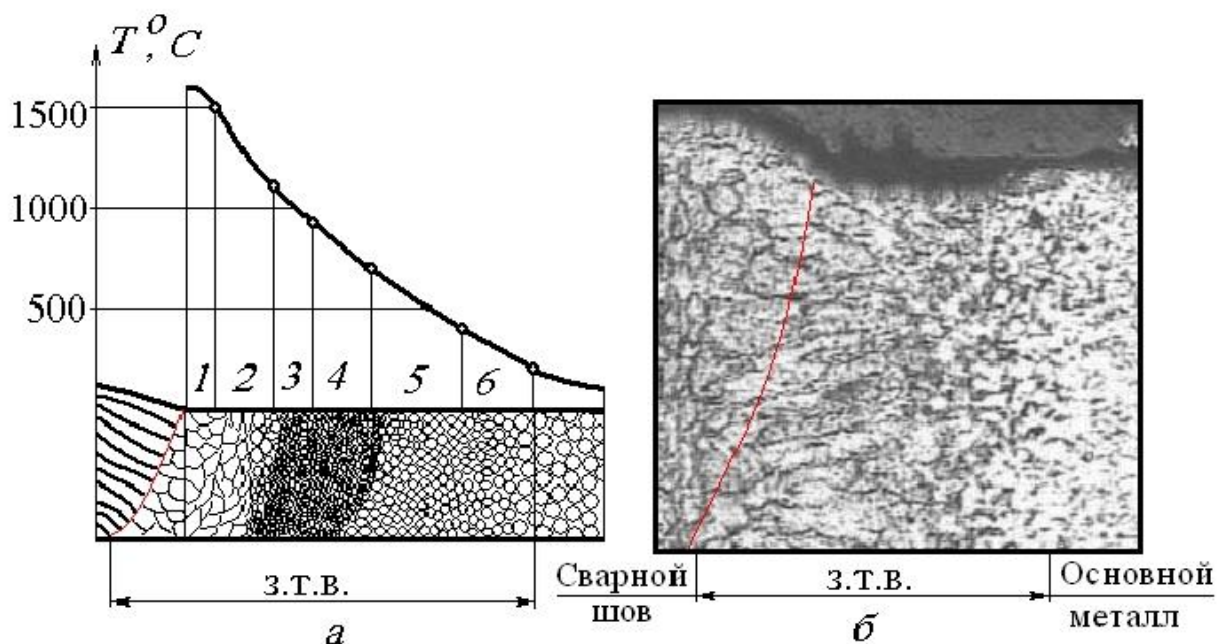


Рисунок 32 – Термический цикл сварки

1. Участок неполного расплавления - находится вблизи к сварочной ванне. Нагрет до 1500 град. Ширина зоны 0,1-0,4 мм.

2. Участок перегрева или участок крупного зерна. Температура от 1100 до 1500 град.. Ширина участка 1-3 мм.

3. В пределах температур 900-1100 град. находится участок нормализации, характеризующийся наиболее мелкозернистым строением.

4. Участок перекристаллизации. Температура нагрева 725-900 град. В этом участке наряду с крупным зерном имеются скопления мелких зерен.

5. Участок, соответствующий нагреву от 450 до 725 град. называется участком рекристаллизации, в нем структура стали не изменяется, а лишь происходит лишь восстановление прежней формы и размеров зерен

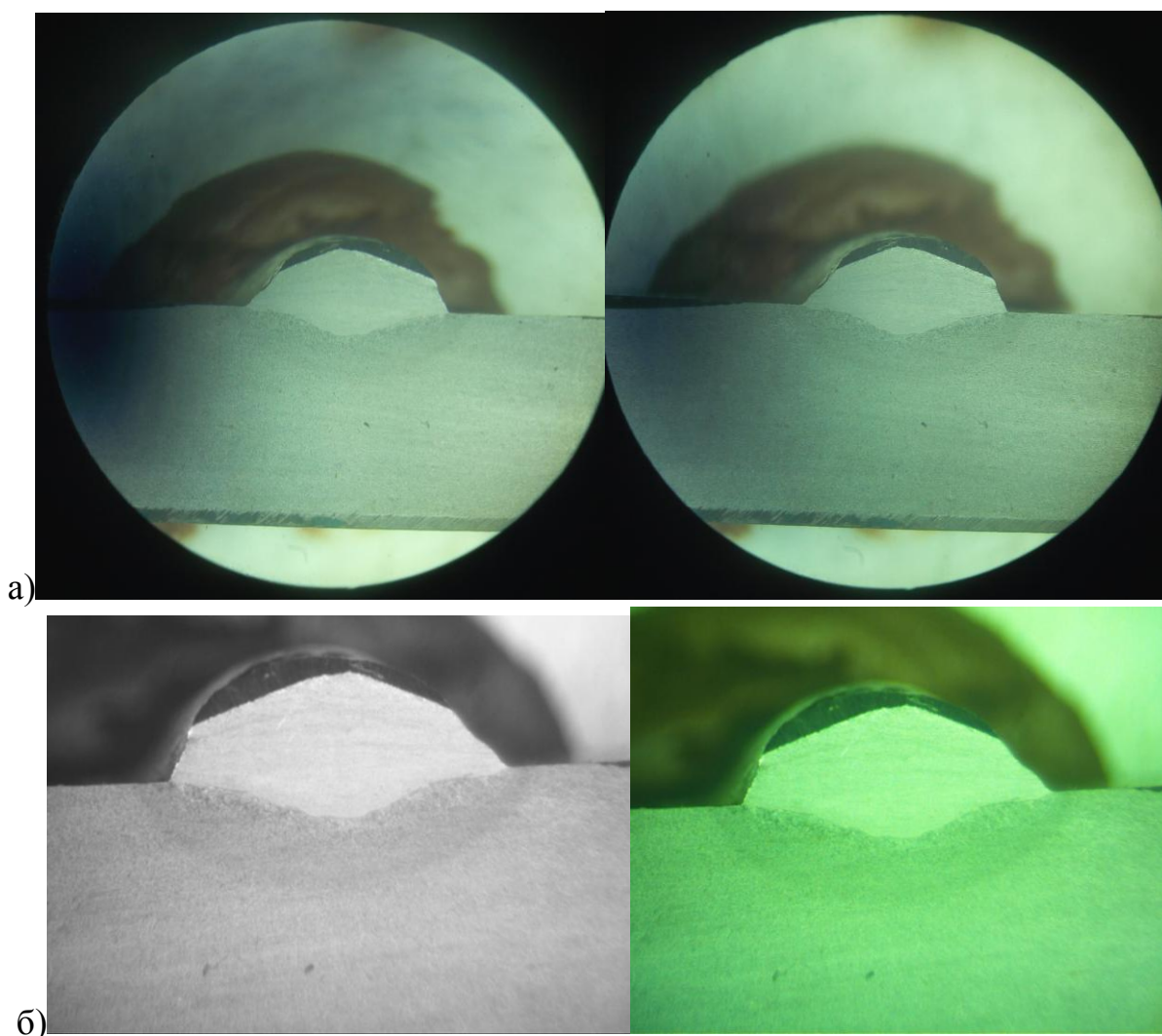
6. Участок синеломкости охватывает температурный интервал 200...400 град., при котором на поверхности металла появляются синие цвета побежалости.

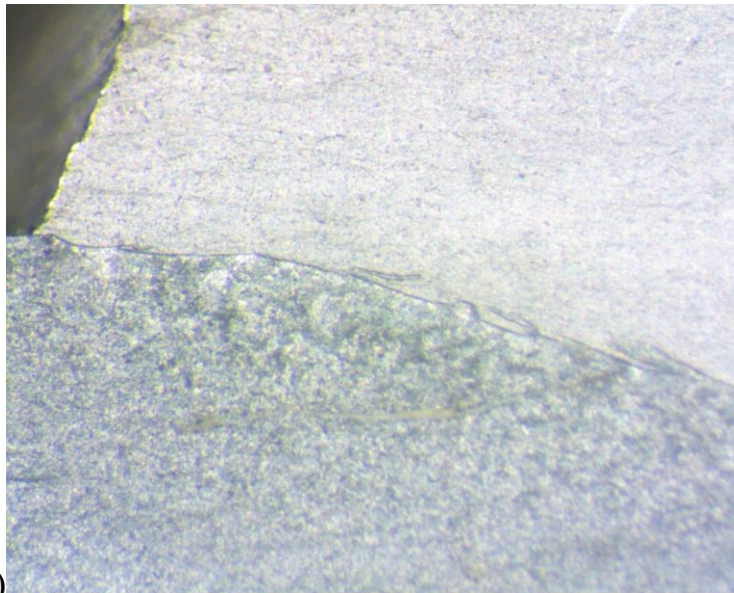
Известно, что микроструктура сварного соединения непрерывно меняется от линии плавления до основного металла. Эти изменения определяются скоростью охлаждения, химическим составом (процентное содержание легирующих и микролегирующих элементов), способом

производства стали и, следовательно, размером зерна. Скорость охлаждения определяет микроструктурные характеристики и, как правило, чем больше толщина пластины, тем ниже скорость охлаждения. Обычно быстрое охлаждение нежелательно, поскольку микроструктура стали имеет тенденцию превращаться в мартенсит.

Таким образом, из характерных участков можно выделить в четыре зоны ЗТВ: первая зона - это зона роста зерна или крупнозернистая зона термического влияния, которая непосредственно примыкает к линии плавления. Вторая и третья зоны - это зоны полной и частичной рекристаллизации. Четвертая область - это зона отпуска. Ширина ЗТВ при ручной дуговой сварке - 3-6 мм.

Макроструктурный анализ образца №4 (рисунок 33)- электроды ОК 68.15 ток сварки 86-87А, напряжение 23,5-24 В, напряжение хх = 80,2 В.





в)

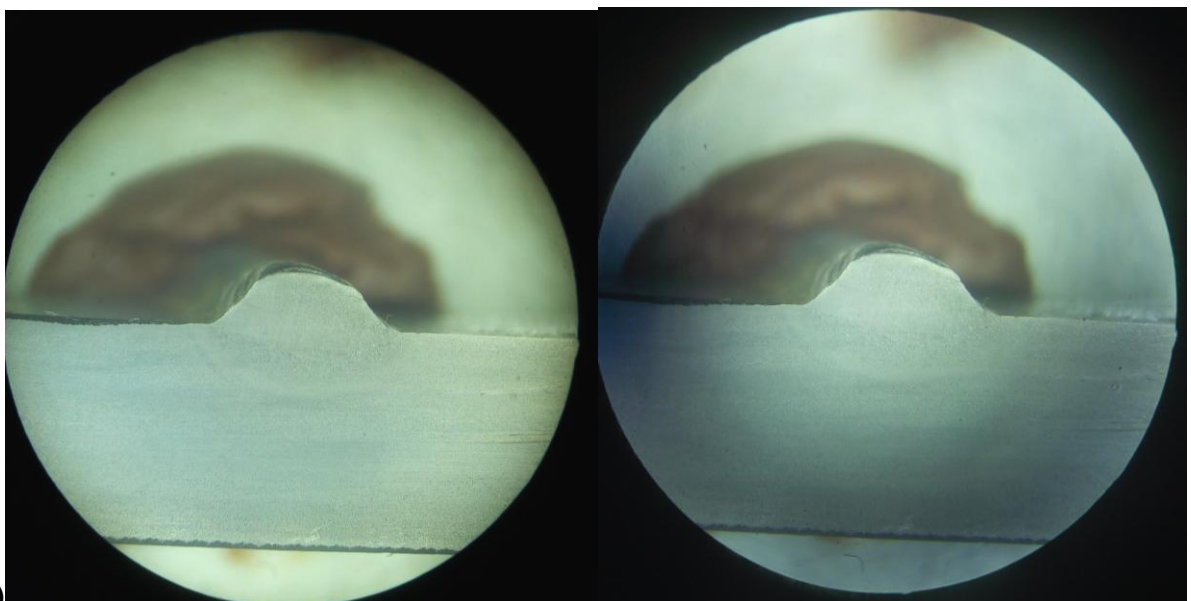
а) без увеличения; б) увеличение в 2 раза; в) увеличение в 4 раза

Рисунок 33 - Макроструктурный анализ образца №4:

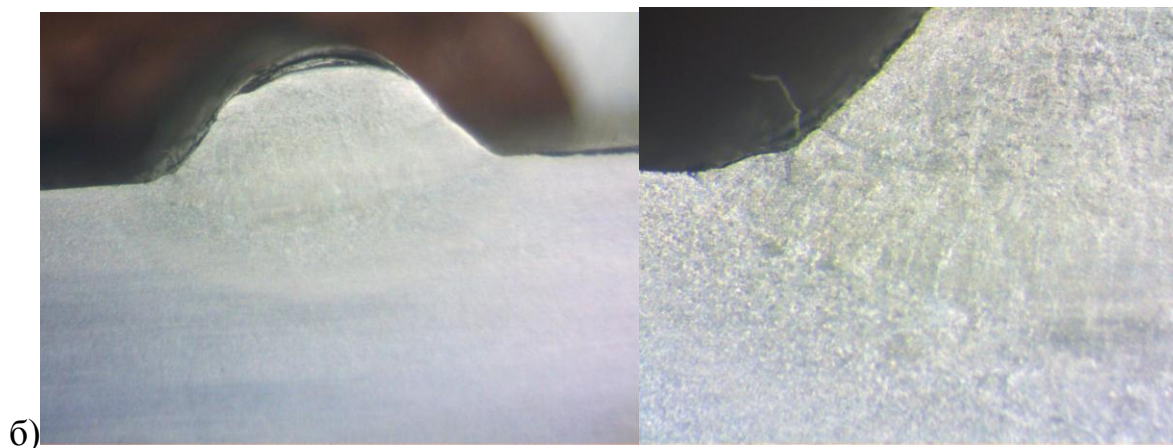
На данных фотографиях видно:

1. линия сплавления и зона термического влияния;
2. участок перегрева с крупнозерновой структурой;
3. участок нормализации с измельченной структурой.
4. при увеличении в 4 раза в поле зрения попадает микротрещина.

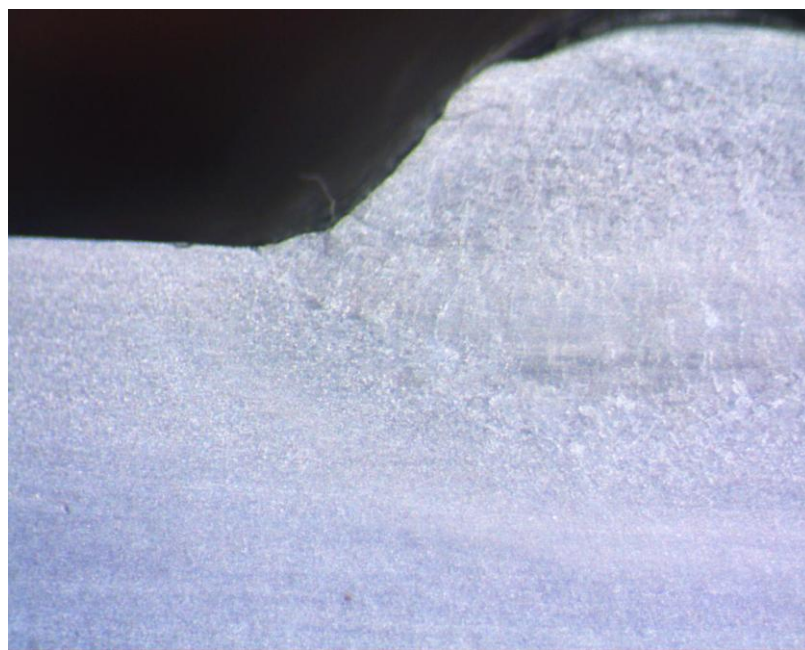
Макроструктурный анализ образца №3 (рисунок 34) - электроды УОНИ 13/55, ток сварки 86-87А, напряжение 23,9-24,2 В, напряжение хх = 80,2 В.



а)



б)



в)

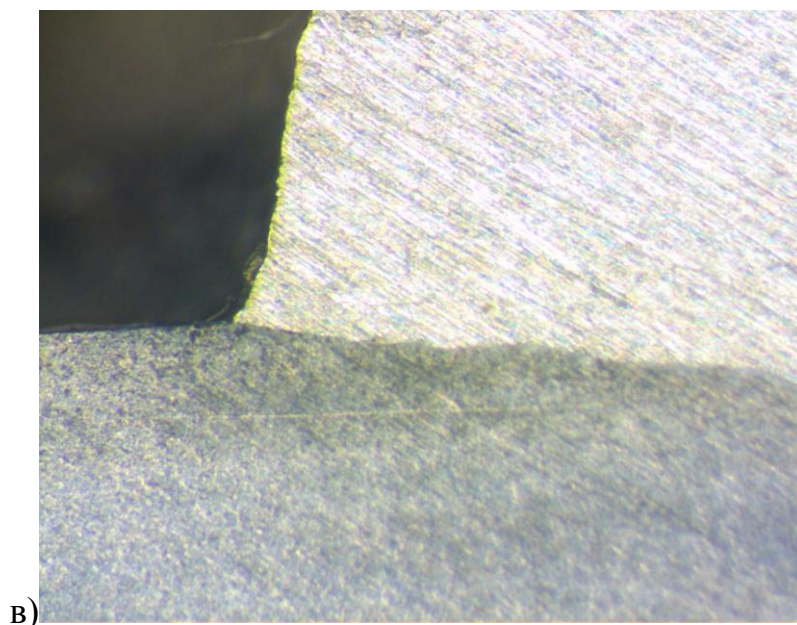
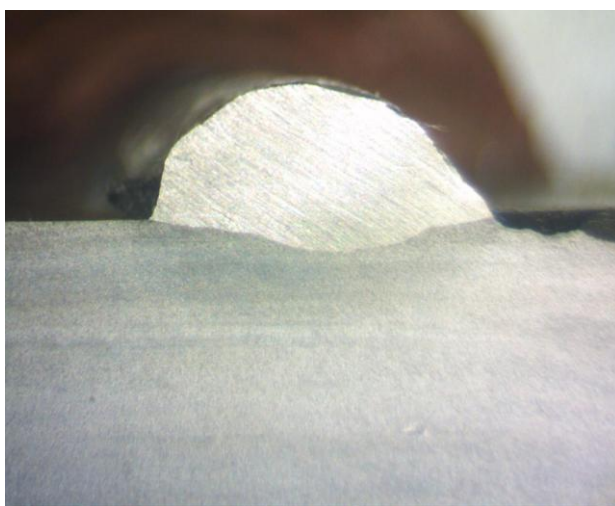
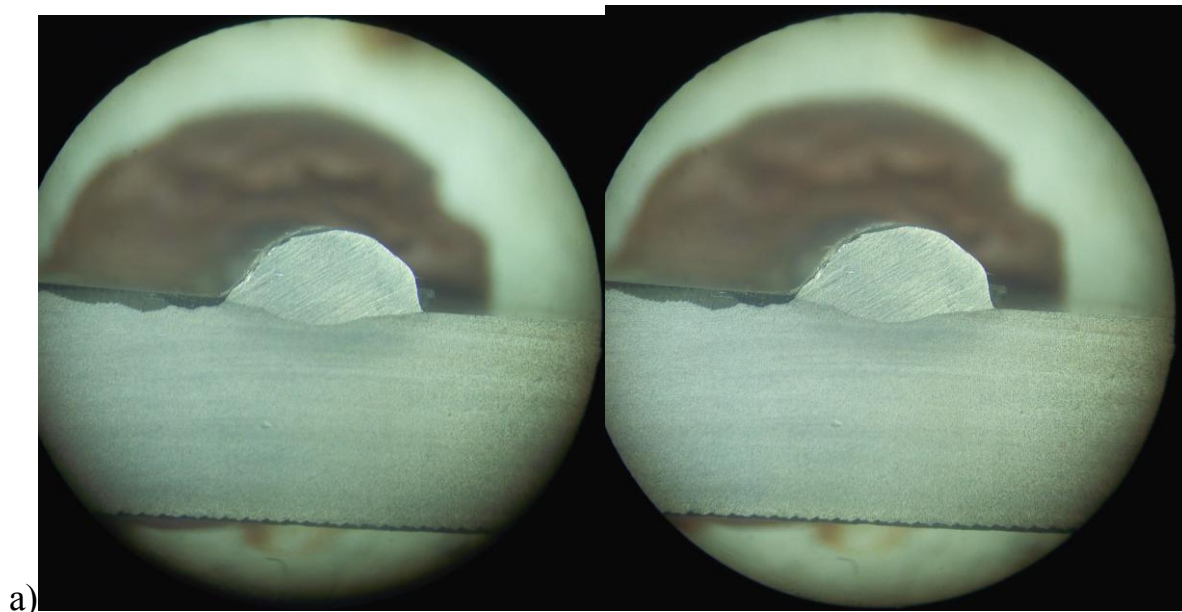
а) без увеличения; б) увеличение в 2 раза; в) увеличение в 4 раза

Рисунок 34 - Макроструктурный анализ образца №3

На данной фотографии видно:

1. линия сплавления и зона термического влияния соединены воедино - монолитно;
2. участок перегрева с крупнозерновой структурой;
3. участок нормализации с измельченной структурой.

Макроструктурный анализ образца №2 (рисунок 35) - электроды ОЗЛ-6, ток сварки 86-87А, напряжение 24,3-25 В, напряжение хх = 80,2 В.

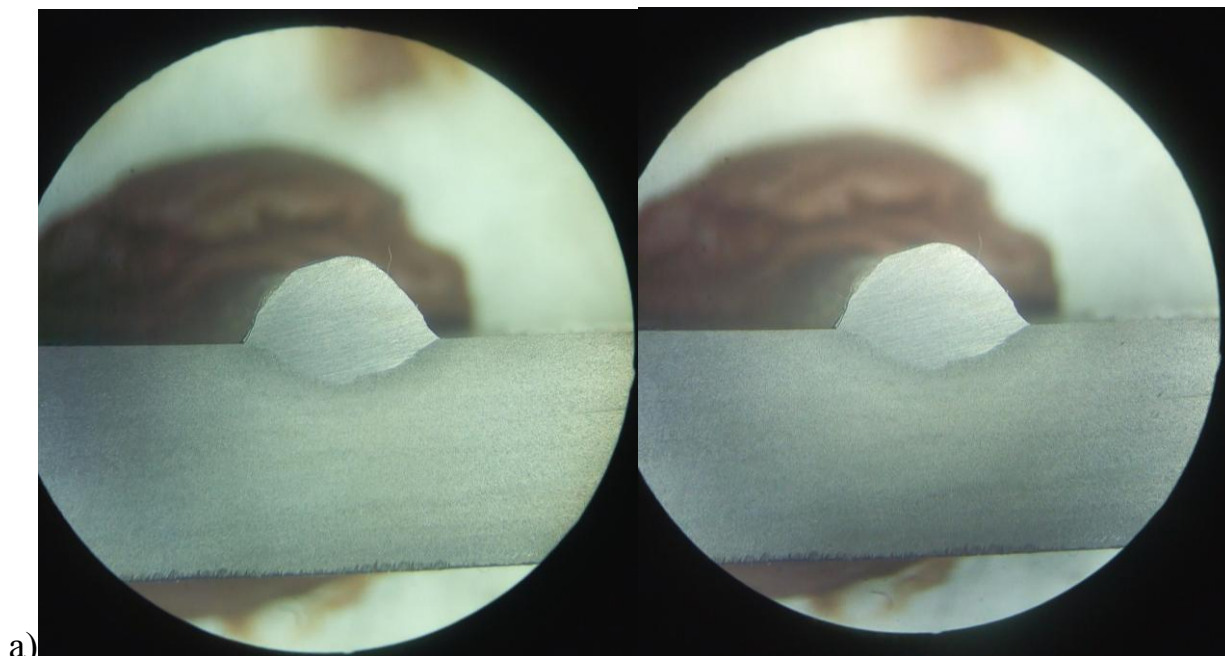


а) без увеличения; б) увеличение в 2 раза; в) увеличение в 4 раза

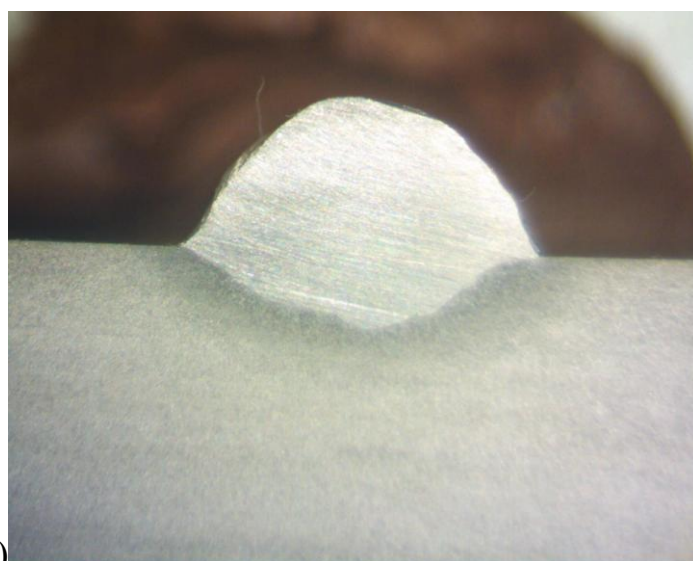
Рисунок 35 - Макроструктурный анализ образца №2

На данной фотографии видно: линия сплавления (в виде волн) и зона термического влияния.

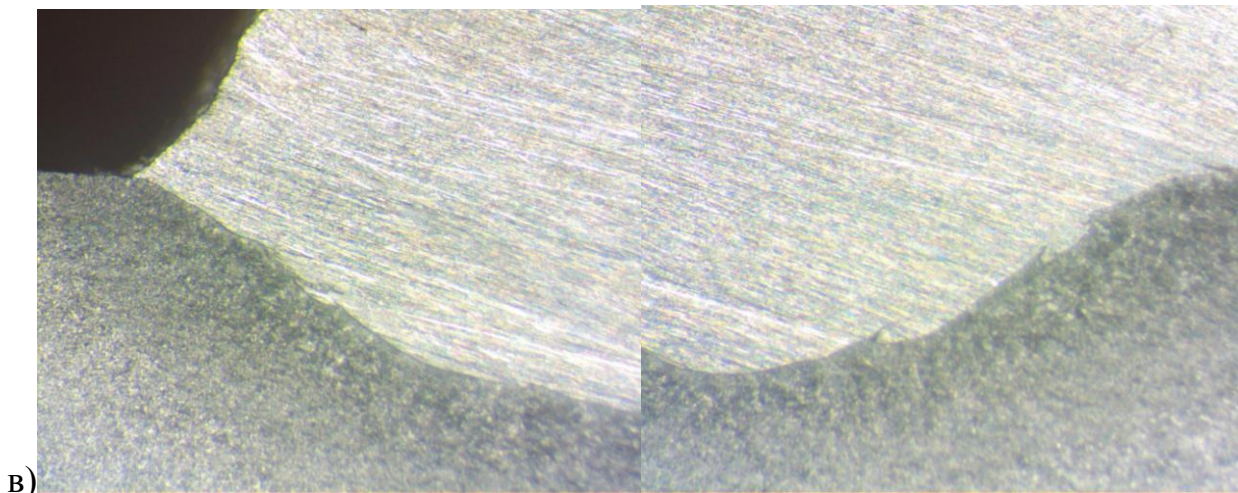
Макроструктурный анализ образца №1 (рисунок 36) - электроды ЦЛ-11, ток сварки 86-87А, напряжение 24,9-25,2 В, напряжение хх = 80,2 В.



а)



б)



а) без увеличения; б) увеличение в 2 раза; в) увеличение в 4 раза

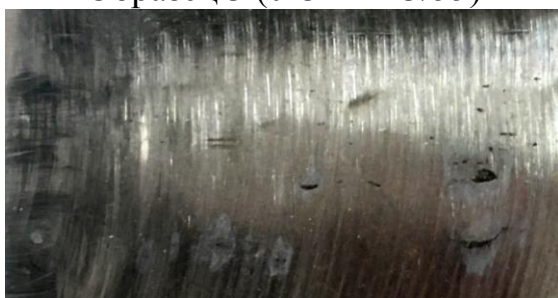
Рисунок 36 - Макроструктурный анализ образца №1

На данной фотографии видно:

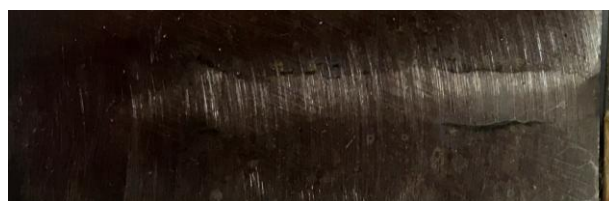
1. линия сплавления (в виде волн) и зона термического влияния;
2. участок перегрева с крупнозерновой структурой;
3. участок нормализации с измельченной структурой.

После проведенного макроструктурного анализа поперечных срезов наплавленных валиков, были проведены исследования продольных поверхностей наплавленных валиков срезанных и зашлифованных на уровне поверхности основного металла (рисунок 37).

Образец 3 (УОНИ 13/55)



Образец 2 (ОЗЛ-6)



Образец 1 (ЦЛ-11)



Образец 4 (ОК 68.15)



Рисунок 37 - Макроструктурный анализ продольных поверхностей (x4)

В образце №3 наблюдаются отдельные подрезы, линия формы шва не наблюдается.

В образцах под №1,2,4 наблюдаются подрезы, видны четкие границы формы шва.

Увеличение в 4 раза показало, что трещин в зоне продольного разреза наплавленных валиков от всех четырех электродов не обнаружено.

4.4 Общие выводы по результатам исследований

При наплавке высоколегированными электродами во всех образцах наблюдается ярко выраженная линия сплавления основного и наплавленного металла, а в образце под №4 (наплавка выполнена электродом ОК 68.15) наблюдается микротрещина. Наплавка электродами марки ОК 68.15 типа 04X13 не обеспечивает качественного сварного соединения на границе расплавленного и основного металла из-за различных коэффициентов теплопроводности λ равных 28 и 51 Вт/(м·°С) соответственно.

Возможно, что трещины не образуются в наплавленном металле, состоящем из смеси углеродистых и легированных сталей, а могут образовываться на границе наплавленного металла из легированных сталей с малым коэффициентом теплопроводности и основным металлом из углеродистых сталей с высоким коэффициентом теплопроводности.

Таким образом, для сварки и наплавки разнородных сталей, таких как высоколегированных и углеродистых, необходимо выбирать марки электродов с малым отличием коэффициентов теплопроводности.

5 Способ изготовления детали с наплавленным покрытием

Основываясь на результаты проведенных исследований, был предложен новый способ изготовления детали с наплавленным покрытием. Данный способ направлен на формирование на поверхности углеродистых сталей качественных поверхностных слоев, соответствующих по химическому составу нержавеющей высоколегированным сталям.

Известен способ получения трехслойных листов и полос (патент РФ на изобретение №93016441 от 27.07.1995), включающий получение биметаллической заготовки наплавкой плакирующего слоя из коррозионностойкой стали на заготовку основного слоя из углеродистой или низколегированной стали и последующую прокатку заготовки. Наплавляемая сталь, содержит, мас.

- Углерод 0,01-0,15
- Хром 15-28
- Азот 0,02-0,05
- Ниобий 5(C+0,5N) 2,0
- Ванадий 4N 0,5
- Железо остальное,

причем наплавку проводят с глубиной проплавления основного слоя 2-10 мм, а прокатку заканчивают в интервале температур 850-900°C.

При таком способе получения покрытия высока вероятность низкого сцепления слоев с возможностью появления расслоений вследствие разности физико-химических свойств используемых материалов.

Наиболее близким техническим решением, взятым за прототип, является способ изготовления детали с наплавленным покрытием и деталь, изготовленная с использованием этого способа (патент РФ на изобретение №2255845 от 02.12.2003). В известном способе, по меньшей мере, на части детали получают покрытие путем электродуговой наплавки плавящимся электродом с образованием, по меньшей мере, одного слоя.

Упомянутый слой образуют из предварительно заданных, чередующихся, по меньшей мере, в одном направлении зон с различными коэффициентами линейного расширения входящих в него металлов. По меньшей мере, одна из зон слоя содержит металл с коэффициентом линейного расширения меньшим коэффициента линейного расширения основного металла детали. Образование слоя осуществляют путем заплывания предварительно изготовленных канавок или наложением валиков. Изобретение позволяет повысить эксплуатационные свойства деталей за счет создания в детали заранее спроектированных благоприятных полей остаточных напряжений .

Недостаток известного способа заключается в том, что преимущественно используются тела вращения, при наплавке применяются сложные технологические приемы.

Задачей предполагаемого изобретения является создание нового способа изготовления детали с наплавленным покрытием позволяющим повысить надежность деталей за счет создание благоприятных полей остаточных напряжений.

Поставленная задача решается благодаря использованию электродов с малым различием по теплопроводности.

Апробирование предложенного способа изготовления детали с наплавленным покрытием осуществлялась следующим образом. Для наплавки по предложенному способу были взяты 4 пластины из стали 30 размерами 150x120x8 мм. В качестве наплавочного материала использовали электроды с основным видом покрытием, но с различным типом покрытий: Э-08Х20Н9Г2Б (ЦЛ-11), Э-10Х25Н13Г2 (ОЗЛ-6), Э50А (УОНИ 13/55), 04Х13 (ОК68.15), и соответственно различными коэффициентами линейного расширения и теплопроводности (таблица 15). Наплавка осуществлялась каждым электродом на свою пластину вдоль и посередине пластины одиночным валиком длиной 100 мм ниточным швом, на постоянном токе обратной полярности, на режиме: сварочный ток 86-88А, напряжение 23-25В.

На всех наплавленных пластинах была определена макроструктура металла шва и прилегающих зон.

Результаты исследования показывают следующее: трещины и как следствие концентраторы напряжений не образуются в наплавленном металле, состоящем из смеси углеродистых и легированных сталей, а могут образовываться на границе наплавленного металла из легированных сталей с малым коэффициентом теплопроводности и основным металлом из углеродистых сталей с высоким коэффициентом теплопроводности.

Таблица 15 - Свойства материалов изделия и электродов

Типы и марки используемых материалов	Модуль упругости, $E \cdot 10^{-5}$ (МПа)	Коэффициент температурного (линейного) расширения, $\alpha \cdot 10^6$ (1/°C)	Коэффициент теплопроводности (теплоемкость материала), λ (Вт/(м·°C))
сталь 30 (изделие)	1,96 1,58	12,1 при 100 град 15,2 при 800 град	51 30
Э50А, УОНИ 13/55	2,13 1,23	11,2 при 100 град 13,4 при 800 град	48 27
10Х25Н13Г2, ОЗЛ-6	1,98 1,49	13,9 при 100 град 17,3 при 800 град	14,6 25,1
08Х20Н9Г2Б, ЦЛ-11	2 1,39	11,8 при 100 град 16,7 при 800 град	15,6 26,3
04Х13, ОК 68.15	2,1 1,68	10,5 при 100 град 12,8 при 800град	28 26

Таким образом, для наплавки необходимо выбирать марки электродов с малым отличием коэффициентов теплопроводности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения исследовательской работы решены поставленные задачи, а именно:

1. Разработана методика исследования влияния физических свойств используемых сварочных материалов на качество наплавки.

2. Проведены исследования по разработанной методике.

3. Проведен анализ и дана сравнительная оценка полученным результатам.

4. Предложена рекомендация по технологическому процессу наплавки, обеспечивающему оптимальное качество наплавленного металла.

Наиболее значимыми результатами работы являются

1. Проведение исследования по разработанной методике.

2. Обработка результата исследования и оценка полученных результатов.

3. Разработаны рекомендации по технологическому процессу наплавки.

Разработанные рекомендации позволяют повысить качество наплавки, следовательно, и конструктивные, и эксплуатационные свойства изделия.

На основе результатов выполненных исследований было выявлено изобретение – Способ изготовления детали с наплавленным покрытием и была оформлена заявка на выдачу патента РФ на изобретение (приложение А).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Молодык, Н.В. Восстановление деталей машин. Справочник. / Н.В. Молодык, А.С. Зенкин.– М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
2. Kah, P. Trends in Joining Dissimilar Metals by Welding / P. Kah, M. Shrestha // Applied Mechanics and Materials. – 2014. - Vol. 440. P. 269-276.
3. ГОСТ 33258-2015. Арматура трубопроводная. Наплавка и контроль качества наплавленных поверхностей. Технические требования. – М.: Стандартиформ, 2016, 49 с.
4. Прогрессивные технологии нанесения покрытий – наплавка, напыление, осаждение [Электронный ресурс]. – URL: <http://mirprom.ru/public/progressivnyetehnologii-naneseniya-pokrytiy-naplavka-napylenie-osazhdenie.html> (дата обращения: 11.10.2017).
5. Ельцов, В.В. Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов : [учеб. пособие по дисциплинам «Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов» и «Основы восстановления деталей и ремонт автомобилей»] / В.В. Ельцов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. – 176 с. : пер.
6. Этус, А.Е. Материаловедение : [учебник для техникумов] / А.Е. Этус – М.: Стройиздат, 1975. – 240 с.
7. Зубченко, А.С. Марочник сталей и сплавов / А.С. Зубченко – М. : Машиностроение, 2003. – 784 с. : ил.
8. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2008. – 17 с.
9. Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс]. – URL: <http://metallcheckiy-portal.ru/> (дата обращения: 11.10.2017).
10. ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 37 с.

11. Макаров, Э.Л. Теория свариваемости сталей и сплавов / Э.Л. Макаров, Б.Ф. Якушин; под ред. Э.Л. Макарова. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 487 с. : ил.
12. Schaffler, A.L. Constitution diagram for stainless steel weld metal / A.L. Schaffler // Metal Progress — 1949. — №56. P. 680-680B.
13. Акулов, А. И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки : [учебник] / А. И. Акулов, В. П. Алехин, С. И. Ермаков ; ред. А. И. Акулов. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Машиностроение, 2003. - 560 с. : ил.
14. СТО 00220368-011-2007. Сварка разнородных соединений сосудов, аппаратов и трубопроводов из углеродистых, низколегированных, теплоустойчивых, высоколегированных сталей и сплавов на железоникелевой и никелевой основах. — Волгоград: ОАО «ВНИИПТхимнефтеаппаратуры», 2007. — 70 с.
15. Delong, W.T. Measurement and calculation of ferrite in stainless steel weld metal / W.T. Delong, G.A. Ostrom, E.R. Szumachowski // Welding Journal. — 1956. — №35. P. 521-528.
16. Закс, И.А. Сварка разнородных сталей : / И.А. Закс — Л.: Машиностроение. — 1973. — 208 с.
17. Рябов, В.Р. Сварка разнородных металлов и сплавов : / В.Р. Рябов, Д.М. Рабкин М.: Машиностроение, 1984. — 239 с.
18. Казаков, Ю.В. Защита интеллектуальной собственности : [учеб. пособие для студ. высших учеб. заведений] / Ю.В. Казаков — М.: Мастерство, 2002. — 176 с.
19. Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» [Электронный ресурс]. - URL: <http://www1.fips.ru> (дата обращения: 18.04.2019)
20. Патентный поиск в РФ [Электронный ресурс]. — URL: www.freepatent.ru (дата обращения: 18.04.2019)

21. Пат. 2255845 Российская Федерация, МПК В 23 К 9/04, В 23 Р6/00.Способ изготовления детали с наплавленным покрытием и деталь, изготовленная с использованием этого способа / Бабаев А. А. ; заявитель и патентообладатель Бабаев А.А., Езупов Д.В. - 2003135529/02 ; заявл. 02.12.03 ; опубл.10.07.05, Бюл. №19. – 17 с.

22. Пат. 2063852 Российская Федерация, МПКВ 23 К 20/04.Способ получения трехслойных листов и полос / Родионова И.Г., Тишков В.Я., Дзарахохов К.З., Шекин В.В. ; заявитель и патентообладатель Акционерное общество открытого типа «Северсталь» - № 93016441/08 ; заявл. 31.03.93; опубл.20.07.96, Бюл. №19. – 9 с.

23. Щицын, Ю.Д. Плазменная наплавка высоколегированной стали 10x18н8т на низколегированную сталь 09Г2С / Ю.Д. Щицын, С.Д. Неулыбин, П.С. Кучев // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2014. – №3. – С. 5-3.

24. Долговечный, А.В. Технологии наплавки легированной стали на основу из углеродистой стали / А.В. Долговечный, Л.А. Демидова, Е.А. Морозов // Известия Самарского научн. центра РАН. – 2012. – №1-2. – С. 550-553.

25. Nikulina, A.A. Simulation of structure formation processes of dissimilar steels welded joints using an intermediate layer / A.A. Nikulina, V.Yu. Skeebe, P.N. Komarov // Applied Mechanics and Materials – 2015. Vol. 788. P. 218–224.

26. Sundaresan, S. Metallurgy of Welding Stainless Steels / S. Sundaresan // Advanced Materials Research – 2013. – Vol. 794. P. 274-288.

27. Dijmarescu, M.C. Influence of Welding Process on the Microstructure of Carbon Steel and Stainless Steel Heterogeneous Welded Joints / M.C. Dijmarescu // Advanced Materials Research – 2016. – Vol. 1138. P. 31-36.

28. Геворкян, В. Г. Основы сварочного дела : [учебник для строит, спец. техникумов] / В.Г. Геворкян. — 4-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. шк., 1985.—168 с, ил.

29. Чебан, В.А. Сварочные работы : [учебное пособие] / В.А. Чебан. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 412 с.
30. СпецЭлектрод [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.spetsselectrode.ru/> (дата обращения: 08.07.2018).
31. ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. – М.: Стандартинформ, 2008. – 7 с.
32. ГОСТ 10052-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 10 с.
33. Солодский, С.А. Источники питания для дуговой сварки : [учебное пособие] / С.А. Солодский, О.Г. Брунов, Д.П. Ильященко; Юргинский технологический институт – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 165 с.
34. Сварочные аппараты типа «Master MLS 3500». Инструкция по эксплуатации. 2016. – 28 с.
35. Сварочный аппарат Kemppi Master MLS 3500 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kemppi.com/ru/> (дата обращения: 09.07.2018).
36. Сварка. Резка. Контроль : Справочник в 2-х томах / под ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышева. м М. : Машиностроение, 2004 - .Т. 1. – 2004. – 624 с. : ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Заявление о выдаче патента Российской Федерации на изобретение (рисунок А.1)

<p style="text-align: center;">ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ (дата регистрации) оригиналов документов заявки</p>	<p style="text-align: center;">(21) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ №</p>	<p style="text-align: center;">ВХОДЯЩИЙ №</p>
<p style="text-align: center;">(85) ДАТА ПЕРЕВОДА международной заявки на национальную фазу</p>		
<p><input type="checkbox"/> (86) <i>(регистрационный номер международной заявки и дата международной подачи, установленные получающим ведомством)</i></p> <p><input type="checkbox"/> (87) <i>(номер и дата международной публикации международной заявки)</i></p> <p><input type="checkbox"/> (96) <i>(номер евразийской заявки и дата ее подачи)</i></p> <p><input type="checkbox"/> (97) <i>(номер и дата публикации евразийской заявки)</i></p>	<p>АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ <i>(почтовый адрес, фамилия и инициалы или наименование адресата)</i> 445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, От ИС, Большаков С.Н.</p> <p>Телефон: (8482) 53-91-25 Факс: Адрес электронной почты: АДРЕС ДЛЯ СЕКРЕТНОЙ ПЕРЕПИСКИ <i>(заполняется при подаче заявки на секретное изобретение)</i></p>	
<p style="text-align: center;">З А Я В Л Е Н И Е о выдаче патента Российской Федерации на изобретение</p>	<p style="text-align: center;">В Федеральную службу по интеллектуальной собственности Бережковская наб., д. 30, корп. 1, г. Москва, Г-59, ГСП-3, 125993, Российская Федерация</p>	
<p>(54) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ С НАПЛАВЛЕННЫМ ПОКРЫТИЕМ</p>		
<p>(71) ЗАЯВИТЕЛЬ <i>(фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии) физического лица или наименование юридического лица (согласно учредительному документу), место жительства или место нахождения, название страны и почтовый индекс)</i></p> <p>федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет»</p> <p><input type="checkbox"/> изобретение создано за счет средств федерального бюджета Заявитель является:</p> <p><input type="checkbox"/> государственным заказчиком <input type="checkbox"/> муниципальным заказчиком исполнитель работ <i>(указать наименование)</i></p> <p><input type="checkbox"/> исполнителем работ по:</p> <p><input type="checkbox"/> государственному контракту <input type="checkbox"/> муниципальному контракту заказчик работ <i>(указать наименование)</i></p> <p>Контракт от _____ № _____</p>	<p style="text-align: center;">ИДЕНТИФИКАТОРЫ ЗАЯВИТЕЛЯ</p> <p>ОГРН 1036300997567</p> <p>КПП 632401001</p> <p>ИНН 6320013673</p> <p>СНИЛС</p> <p>ДОКУМЕНТ <i>(серия, номер)</i></p> <p>КОД СТРАНЫ <i>(если он установлен)</i> RU</p>	
<p>(74) ПРЕДСТАВИТЕЛЬ(И) ЗАЯВИТЕЛЯ <i>(указываются фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии) лица, назначенного заявителем своим представителем для ведения дел по получению патента от его имени в Федеральной службе по интеллектуальной собственности или являющегося таковым в силу закона)</i></p>	<p><input type="checkbox"/> патентный поверенный</p> <p><input type="checkbox"/> представитель по доверенности</p> <p><input type="checkbox"/> представитель по закону</p>	
<p>Фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии)</p> <p>Адрес</p> <p>Срок представительства <i>(если к заявлению приложена доверенность представителя заявителя, срок может не указываться)</i></p>	<p>Телефон:</p> <p>Факс:</p> <p>Адрес электронной почты:</p> <p>Регистрационный номер патентного поверенного</p>	

(72) АВТОР <i>Фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии)</i>	Адрес места жительства, включающий официальное наименование страны и ее код	
Моторин Константин Васильевич Стефанова Ирина Алексеевна Стефанов Алексей Алексеевич	ул. Мурысева д.57, кв.22, г. Тольятти, 445046, Россия, RU ул. Олимпийская д.32, кв.44, г. Тольятти, 445092, Россия, RU ул. Академика Скрябина д.21, кв.94, г. Тольятти, 445092, Россия, RU	
<input type="checkbox"/> Я (мы) _____ <i>(фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии))</i> Прошу (просим) не упоминать меня (нас) как автора(ов) при публикации сведений <input type="checkbox"/> о заявке <input type="checkbox"/> о выдаче патента Подпись(и) автора(ов) <input type="checkbox"/> Просьба автора(ов) не упоминать его (их) при публикации прилагается <i>(отмечается при подаче заявки в электронном виде)</i>		
ПЕРЕЧЕНЬ ПРИЛАГАЕМЫХ ДОКУМЕНТОВ		
<input checked="" type="checkbox"/> описание изобретения	Количество листов в 1 экз.	Количество экземпляров
<input checked="" type="checkbox"/> описание изобретения	2	3
<input type="checkbox"/> перечень последовательностей		
<input checked="" type="checkbox"/> формула изобретения (количество пунктов формулы _____) <i>(указать)</i>	1	3
<input type="checkbox"/> чертеж(и) и иные материалы фигуры чертежей, предлагаемые для публикации с рефератом _____ <i>(указать)</i>		
<input checked="" type="checkbox"/> реферат	1	3
<input checked="" type="checkbox"/> копия документа, подтверждающего уплату патентной пошлины (пошлин), <i>(представляется по собственной инициативе заявителя)</i>	1	1
<input type="checkbox"/> ходатайство о предоставлении права на освобождение от уплаты патентной пошлины или на уплату этой пошлины в уменьшенном размере		
<input type="checkbox"/> копия первой заявки <i>(при испрашивании конвенционного приоритета)</i>		
<input type="checkbox"/> перевод заявки на русский язык		
<input type="checkbox"/> доверенность		
<input type="checkbox"/> согласие представителя заявителя на обработку его персональных данных		
<input type="checkbox"/> просьба автора(ов) не упоминать его (их) при публикации		
<input type="checkbox"/> другой документ _____ <i>(указать наименование документа)</i>		
<input type="checkbox"/> дополнительные листы к настоящему заявлению		
<input type="checkbox"/> копия документов заявки (описание, формула изобретения, чертежи (если имеются) и реферат) на машиночитаемом носителе _____ <i>(указать вид носителя)</i>		
Подтверждаю, что копия документов заявки на машиночитаемом носителе является точной копией документов, представленных на бумажном носителе.		
<input type="checkbox"/> копия перечня последовательностей на машиночитаемом носителе _____ <i>(указать вид носителя)</i>		
Подтверждаю, что копия перечня последовательностей на машиночитаемом носителе является точной копией перечня последовательностей, представленного на бумажном носителе.		

ЗАЯВЛЕНИЕ НА ПРИОРИТЕТ <i>(заполняется только при испрашивании приоритета более раннего, чем дата подачи заявки)</i> Прошу установить приоритет изобретения по дате		
1 <input type="checkbox"/> подачи первой заявки в государстве - участнике Парижской конвенции по охране промышленной собственности (пункт 1 статьи 1382 Кодекса) 2 <input type="checkbox"/> поступления дополнительных материалов к более ранней заявке (пункт 2 статьи 1381 Кодекса) 3 <input type="checkbox"/> подачи более ранней заявки (пункт 3 статьи 1381 Кодекса) 4 <input type="checkbox"/> подачи/приоритета первоначальной заявки (пункт 4 статьи 1381 Кодекса), из которой выделена настоящая заявка		
№ заявки	Дата испрашиваемого приоритета на основании указанной заявки	Код страны подачи <i>(при испрашивании конвенционного приоритета)</i>
<input type="checkbox"/> Ссылка на вышеуказанную заявку № _____ приведена в качестве замены представления <input type="checkbox"/> описания <input type="checkbox"/> чертежей изобретения для установления даты подачи заявки		
ХОДАТАЙСТВО ЗАЯВИТЕЛЯ Прошу: <input type="checkbox"/> осуществить публикацию сведений о заявке ранее установленного срока (пункт 1 статьи 1385 Кодекса) <input type="checkbox"/> начать рассмотрение международной заявки ранее установленного срока (пункт 1 статьи 1396 Кодекса) <input checked="" type="checkbox"/> провести экспертизу заявки на изобретение по существу (пункт 1 статьи 1386 Кодекса)		
<input checked="" type="checkbox"/> Уплачена пошлина <input checked="" type="checkbox"/> по пункту _____ 1.1. _____ приложения к Положению о пошлинах. <input checked="" type="checkbox"/> по пункту _____ 1.8. _____ приложения к Положению о пошлинах. Сведения о плательщике <i>(фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии) или наименование юридического лица)</i> федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет» Идентификаторы плательщика, указываемые в документе, подтверждающем уплату пошлины: <input type="checkbox"/> Для физического лица: ИНН _____ СНИЛС _____ Серия, номер документа, удостоверяющего личность плательщика _____ <input checked="" type="checkbox"/> Для юридических лиц: ИНН 6320013673 КПП 632401001 КИО _____		
<i>(заполняется, если копия документа, подтверждающего уплату патентной пошлины, не прилагается к настоящему ходатайству)</i>		
Заявителю известно о том, что в соответствии с подпунктом 4 пункта 1 статьи 6 Федерального закона от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2006, № 31, ст. 3451; 2009, № 48, ст. 5716; № 52, ст. 6439; 2010, № 27, ст. 3407; № 31, ст. 4173, 4196; № 49, ст. 6409; № 52, ст. 6974; 2011, № 23, ст. 3263; № 31, ст. 4701; 2013, № 14, ст. 1651; № 30, ст. 4038; № 51, ст. 6683; 2014, № 23, ст. 2927; № 30, ст. 4217, 4243) (далее – Федеральный закон от 27 июля № 152-ФЗ), Федеральная служба по интеллектуальной собственности осуществляет обработку персональных данных субъектов персональных данных, указанных в заявлении, в целях и объеме, необходимых для предоставления государственной услуги. Настоящим подтверждаю, что у заявителя имеются согласия авторов и других субъектов персональных данных, указанных в заявлении, на обработку их персональных данных, приведенных в настоящем заявлении, в Федеральной службе по интеллектуальной собственности в связи с предоставлением государственной услуги. Согласия оформлены в соответствии со статьей 9 Федерального закона от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ. <i>(заполняется только заявителями по российским заявкам)</i>		
Заявителю известно, что с информацией о состоянии делопроизводства, в том числе о направленных заявителю документах, можно ознакомиться на сайтах Роспатента (www.rupto.ru) и ФИПС (www1.fips.ru) в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».		
Подтверждаю достоверность информации, приведенной в настоящем заявлении. Подпись _____		
Проректор по научно-исследовательской работе ГОУ ВПО ТГУ _____		С.Н.Большаков
<i>(подпись, фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии) заявителя или представителя заявителя, или иного уполномоченного лица, дата подписи (при подписании от имени юридического лица подпись руководителя или иного уполномоченного на это лица удостоверяется печатью при ее наличии).</i>		

Рисунок А.1- Заявление о выдаче патента Российской Федерации на изобретение