

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
(наименование)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического
оборудования

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему: Совершенствование технологии наплавки уплотнительного кольца из
сплава Н95Г

Обучающийся

Э.Р. Нехожина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

д.т.н. профессор В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2024

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика восстанавливаемого изделия и анализ способов восстановления его работоспособности.....	8
1.1 Характеристика уплотнительного кольца и его износ.....	8
1.2 Корпусной кипящий реактор ВК-50.....	9
1.2.1 Физические свойства никеля.....	13
1.2.2 Механические свойства никеля.....	13
1.2.3 Химические свойства никеля.....	15
1.2.4 Свариваемость никеля и его сплавов.....	17
1.2.5 Свойства наплавленного металла.....	18
1.3 Уплотнительное кольцо.....	21
1.4 Анализ и свойства жаропрочных сплавов.....	22
1.5 Основные сведения и технические данные уплотнительного кольца.....	23
1.6 Комплексная характеристика способов восстановления.....	24
1.7 Ручная дуговая наплавка покрытыми электродами.....	26
1.8 Наплавка плавящимся электродом в среде защитного газа.....	28
1.9 Электронно-лучевая наплавка.....	29
1.10 Газовая наплавка.....	30
1.11 Наплавка ручная аргодуговая вольфрамовым электродом.....	32
2 Обоснование выбора наплавочных материалов и оборудования для наплавки уплотнительного кольца.....	36
2.1 Наплавка сварочной проволокой ДКРН 3,0 БТ НП-2.....	36
2.2 Наплавка сварочной проволокой НМцАТ 3-1,5-0,6.....	39
2.3 Инверторный аппарат аргодуговой сварки TIG КЕМРРІ.....	44
2.4 Горизонтально-расточной станок М2620.....	47
3 Восстановительная наплавка уплотнительного кольца.....	53
3.1 Подготовка под наплавку внутренней поверхности уплотнительного кольца.....	53
3.2 Наплавка внутренней поверхности уплотнительного кольца	53
3.3 Токарная обработка внутренней поверхности уплотнительного кольца.....	56
3.4 Контроль после наплавки внутренней поверхности уплотнительного кольца.....	57

3.5 Подготовка под наплавку наружной поверхности уплотнительного кольца.....	58
3.6 Наплавка наружной поверхности уплотнительного кольца.....	58
3.7 Токарная обработка наружной поверхности уплотнительного кольца...	60
3.8 Контроль после наплавки поверхности уплотнительного кольца.....	60
4 Исправление дефектов уплотнительного кольца.....	63
Заключение.....	68
Список используемых источников.....	70

Введение

Исследовательская ядерная установка ВК-50 размещена на площадке Научно – исследовательского института атомных реакторов в г. Димитровграде Ульяновской области.

«ИЯУ ВК-50 представляет собой ядерную установку тепловой мощностью 200 МВт, работающую по схеме прямого цикла в режиме АТЭЦ, с единственным в России корпусным кипящим реактором и всережимной естественной циркуляцией теплоносителя в нем» [15].

Главным конструктором реактора является ОКБ «Гидропресс». Научным руководителем - РНЦ "Курчатовский институт", Генеральным проектировщиком – ВО «ГИ «ВНИПИЭТ», ныне «Атомпроект».

- Физический пуск реактора произведен в декабре 1964 г.
- Энергетический пуск установки произведен в октябре 1965 г.
- В декабре 1965 г. ИЯУ выведена на проектный уровень мощности.

НИР в обоснование безопасности АЭС, проведенные на ВК-50:

1) «Исследовательские работы по изучению проблем одноконтурных АЭС с корпусными кипящими реакторами.

2) Исследовательские работы для РБМК-1000. Результатом этих работ явились рекомендации, подлежащие учету при проектировании АЭС с реакторами типа РБМК.

3) Исследовательские работы для РБМК-II (2000). Результатом этих работ явилась отработка головных образцов турбонасосов для реакторов мощностью 2000-2400 МВт, ТЦН-307 и ПТНА.

4) Исследовательские работы для атомных станций теплоснабжения (АСТ)» [15].

«За годы эксплуатации на РУ ВК-50 были выполнены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы:

- экспериментальные исследования устойчивости и маневренности корпусных кипящих реакторов с естественной циркуляцией теплоносителя,
- изучение вопросов работоспособности и ресурсной стойкости материалов тепловыделяющих сборок и поглощающих элементов,

- верификация новых расчетных кодов легководных реакторов нового поколения («Корсар/ГП») по данным нейтронно-физических и теплогидравлических характеристик реактора ВК-50 (2005-2007г.г.),
- изучение сепарационных характеристик, вопросов радиационной безопасности, водно-химических режимов и взрывобезопасности при кипении теплоносителя,
- комплекс работ по модернизации и созданию новых систем безопасности для легководного реактора: апробация принципа оптимального сочетания активных и пассивных систем безопасности» [15].

Отличие концепции безопасности РУ ВК-50 с естественной циркуляцией теплоносителя от реакторов ВWR АЭС «Фукусима»:

- Всережимная естественная циркуляция теплоносителя позволяет при наличии уровня над активной зоной расхолаживать реактор без активных систем безопасности.
- Более чем в 10 раз меньшая мощность реактора – меньшее остаточное тепловыделение активной зоны и выбросы РВ при аварии.
- Все патрубки реактора расположены выше активной зоны и минимально достаточного уровня для устойчивой работы контура естественной циркуляции теплоносителя.
- Режим «выбег генератора» с работой основного контура позволяет при отключении от энергосистемы резко сбросить давление в реакторе и отвести остаточные тепловыделения в первые 3 минуты после срабатывания аварийной защиты за счет использования энергии пара, остающегося в паропроводах, сепараторах и корпусе реакторе.
- Пассивные системы безопасности не имеют в своем составе вращающихся элементов и основаны только на законах гравитации: гидроемкость (20 т), гидроемкости с борным раствором (11т), конденсатор (теплообменник) аварийного расхолаживания - КАР (конденсация 5т/ч пара).
- Удаление парогазовой смеси с водородом после предохранительных клапанов реактора не в замкнутой объем защитной оболочки, а через систему локализации радиоактивности в спецвентиляцию предотвращает взрыв «гремучей» смеси.

– Возможность подачи воды в реактор и систему КАР от внешних источников (пож. машины или мотопомпы из градирен) через исполнительные механизмы СУЗ верхнего расположения.

– Возможность охлаждения днища реактора заполнением наружного пространства шахты (защитной оболочки) водой из градирен (12000т) без насосов.

– Заполнение реактора борированным раствором из бака (50т) самотеком или насосом, запитанным от аккумуляторных батарей сейсмостойкого исполнения» [15].

«Контур естественной циркуляции реактора состоит из системы параллельных парогенерирующих кассет активной зоны, «тягового» участка и двух параллельных опускных каналов. Наружный «холодный» опускной канал вместе с центральной группой кассет активной зоны и внутренний «горячий» опускной канал с периферийными кассетами образуют две ветки контура, имеющие общий тяговый участок.

Теплоноситель (вода) в активную зону поступает снизу по «горячему» и «холодному» опускным участкам и в центральные ТВС поступает с недогревом 3-5°С, а в периферийные — с нулевым. Она закипает на начальном участке активной части ТВС, и ее паросодержание увеличивается по мере перемещения ее в пучке твэлов» [15].

«Разделительная обечайка расположена в опускном канале реактора ВК-50, её верхний обрез (торец) находится примерно на 100 мм ниже нижней кромки переливных окон шахты, разделяя площади проходных сечений опускных каналов как 1:2,5 (меньшая — площадь «горячего» опуска)».

Чтобы соответствовать современным требованиям безопасности реакторная установка ВК-50 все эти годы постоянно модернизировалась. В итоге это позволило в рамках программы развития малой энергетики создать на основе ВК-50 образец региональной атомной теплоэлектроцентрали [15].

Одной из проблем, которую приходится решать на кипящем реакторе с одноконтурной схемой – уплотнение главного разъема реактора.

Уплотнение главного разъёма реактора осуществляется уплотнительным никелевым кольцом треугольного сечения. Две стороны, которого прилегают к уплотнительным поверхностям корпуса и крышки реактора. Для увеличения

усилия и эффективного прилегания кольца к уплотнительным поверхностям на его боковых гранях имеются выступы (пояски) и канавки. Кольцо промежуточное при уплотнении разъёма передает усилие от кольца нажимного на кольцо никелевое.

Для гарантированного уплотнения главного разъёма реактора необходимо, чтобы геометрические размеры уплотнительных поверхностей никелевого кольца полностью соответствовали требованиям конструкторской документации.

Поскольку уплотнительное кольцо изготовлено из никелевого сплава Н95Г, то из-за его низкой свариваемости, при проведении ремонтно-восстановительной наплавки вполне могут в наплавленном слое появляться дефекты в виде трещин и пористости.

Поэтому, цель работы – повысить качество наплавки поверхности уплотнительного кольца из сплава Н95Г.

1 Характеристика восстанавливаемого изделия и анализ способов восстановления его работоспособности

1.1 Характеристика уплотнительного кольца и его износ

Узел уплотнения корпуса и универсального верхнего блока (УВБ) реактора ВК-50 состоит из нескольких технологических колец (никелевого, промежуточного, нажимного) и крепежных элементов: шпилек М130, гаек М130 и сферических шайб. Узел уплотнения корпуса приведен на рисунке 1.

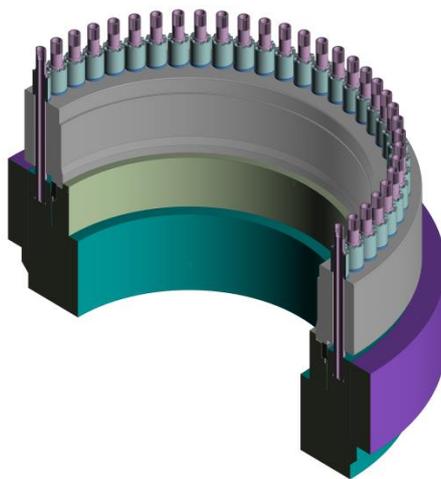


Рисунок 1 – Узел уплотнения корпуса

Усилие затяжки создается за счет наворачивания гайки М130 на шпильки М130. В каждой шпильке имеется контрольный стержень, служащий для контроля усилия обтяжки. Критерием оценки достижения требуемого усилия является изменение (увеличение) длины шпильки на 1 мм относительно стержня, не воспринимающего усилия растяжения при обтяжке. Для гарантированного уплотнения главного разъема реактора необходимо, чтобы геометрические размеры уплотнительных поверхностей никелевого кольца полностью соответствовали требованиям конструкторской документации, а усилие затяжки приводило к удлинению шпилек относительно контрольных стержней на величину 1мм.

Отклонение высоты никелевого кольца от требования чертежа, при условии не превышения других критических значений параметров кольца, не препятствует уплотнению главного разъема реактора. Пластичность материала кольца и достаточно большой запас прочности, заложенный в проекте реактора ВК-50, позволяют уплотнить разъем и при одновременном несоответствии нескольких параметров кольца требованиям конструкторской документации. В частности, высота кольца может быть уменьшена до 72 мм. Практика показывает, что кольцо работает при высоте 69 мм. Поскольку этот параметр компенсируется сокращением свободного расстояния между нажимным кольцом и корпусом реактора. Величина этого зазора не регламентирована, а контроль наличия зазора, совместно с измерением величины вытяжки шпилек, подтверждает, что усилие обжатия прокладки соответствуют проектным величинам.

Однако при уменьшении высоты уплотнительного кольца ниже критически допустимых размеров его функциональность по уплотнению может быть нарушена, поэтому изношенное до такого размера уплотнительное кольцо требует ремонтно-восстановительной наплавки. Кроме того, возможен износ кольца угла внутренней поверхности и по ширине уплотнительных поясов, что также требует восстановления геометрических размеров. Операции по восстановлению геометрии изношенной детали такой формы и размеров, как правило, осуществляется электродуговой наплавкой.

1.2 Корпусной кипящий реактор ВК-50

«Особенности – ядерная установка с корпусным кипящим реактором и естественной циркуляцией теплоносителя, с выдачей пара непосредственно из реактора на турбину.

Основное направление деятельности – генерация и выдача в сеть электрической энергии для внешних и внутренних потребителей, а также выработка тепловой энергии для обеспечения внутренних потребителей (эксплуатация в режиме АТЭЦ)» [15].

Здание реактора ВК-50 показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Здание реактора ВК-50

Корпусной кипящий реактор с естественной циркуляцией теплоносителя ВК-50 – старейший энергетический реактор, эксплуатирующийся на мощности, и единственный действующий в мире. Его уникальные характеристики делают его важным объектом не только для научных исследований, но и для обеспечения энергетической безопасности.

На рисунке 3 показана верхняя часть реактора ВК-50 со снятым защитным колпаком.



Рисунок 3 – Верхняя часть реактора ВК-50 со снятым защитным колпаком

На рисунке 4 показан сам реактор ВК-50

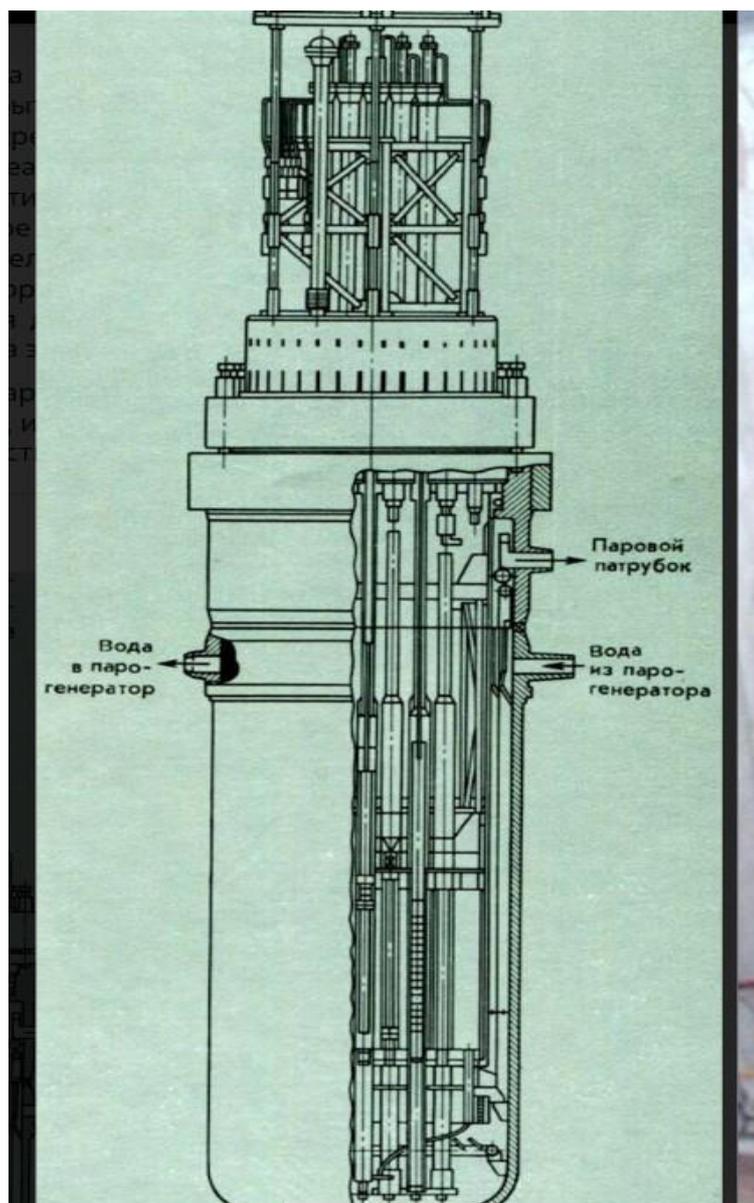


Рисунок 4 - Реактор ВК-50

«Сокращение расходов – важная задача, решением является восстановление дефектных деталей. Типичные дефекты деталей и сборочных единиц:

нарушение посадки между сопряженными поверхностями;

нарушение размеров, геометрической формы и относительного положения в пространстве поверхностей деталей;

ухудшение свойств материала;

ухудшение внешнего вида.

Задача восстановления дефектных сопряжений и деталей состоит в возврате утраченных свойств: посадки, формы, относительного положения в пространстве поверхностей, свойств материала и внешнего вида детали. Восстановить посадку

между сопряженными поверхностями деталей можно следующими методами:

- 1) обработкой изношенной поверхности одной детали и заменой сопряженной детали (способ ремонтных размеров);
- 2) применением дополнительной ремонтной детали (компенсатора износа);
- 3) восстановлением первоначальных размеров сопряженных поверхностей деталей» [1].

«Экономическая целесообразность ремонта обусловлена тем, что около 45% деталей машин, поступающих в ремонт, изношены в допустимых пределах и могут быть использованы после восстановления при его себестоимости 15...30% цены новых деталей. Только 5...9% деталей не подлежат восстановлению. Восстановление деталей является основным источником экономической эффективности ремонта, технически основанным и экономически оправданным мероприятием» [1].

«Восстановление деталей позволяет ремонтно-обслуживающим предприятиям сократить время простоя машин в ремонте, повысить качество их технического обслуживания, положительно влияет на улучшение показателей надежности и использования машин»[1]. Во время плановой остановки изношенные детали заменяют на запасные части.

«Проблема подготовки производства и организации восстановления деталей является более сложной по сравнению с изготовлением новых деталей. Детали, поступающие на восстановление, имеют деформации, изношенные базы, остаточную термообработку, трещины и пониженную усталостную прочность. Все это требует детального изучения и учета при разработке технологических процессов. Несмотря на это, восстановление и упрочнение деталей позволяет возобновить ресурс машины, а в некоторых случаях значительно его повысить. Исследования показывают, что восстановлением и упрочнением сопряжений деталей можно увеличить их ресурс в 2,5 раза» [1].

Реакторная установка ВК-50 - это яркий пример того, как постоянное развитие и модернизация могут превратить устаревшее оборудование в современный и безопасный источник энергии. Ее история - это история труда и инноваций, направленных на создание лучшего и безопасного будущего.

1.2.1 Физические свойства никеля

«Атомный вес 58,69. Для никеля свойственна гране-центрированная кристаллическая решетка с параметром $a=3,5168\text{Å}$ и межатомным расстоянием 2,486Å. Удельный вес технических марок никеля с содержанием 98,5—99,5% составляет 8,7—8,84 г/см³» [1].

«Температура плавления никеля в зависимости от степени его чистоты лежит пределах 1452—1455° С, а температура кипения при атмосферном давлении по различным данным равна 2730—3080° С» [1].

«Теплопроводность технического никеля в интервале температур 20—100°С равна 0,1428 кал/см·сек·град. С повышением температуры до 360° С (точка Кюри) теплопроводность никеля плавно понижается. При этой температуре кривая теплопроводности имеет точку минимума, от которой начинается возрастающая ветвь кривой при дальнейшем повышении температуры (рисунок 5). Коэффициент линейного расширения никеля тем больше, чем выше чистота металла» [1].

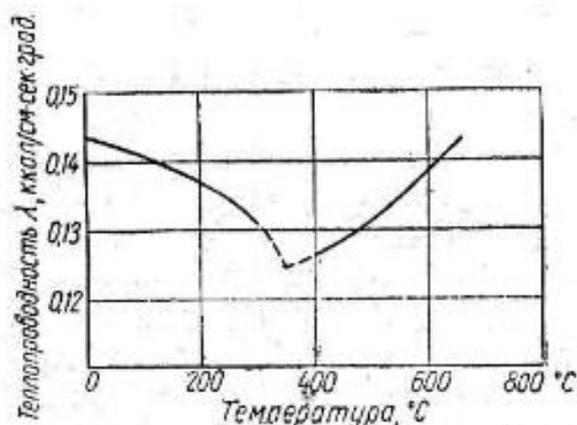


Рисунок 5 – Теплопроводность никеля в зависимости от температуры

«Удельное электросопротивление с повышением степени чистоты никеля уменьшается, а температурный коэффициент электросопротивления увеличивается» [1].

1.2.2 Механические свойства никеля

«Никель хорошо обрабатывается в горячем и холодных состояниях, причем после деформации в холодном состоянии он приобретает наклеп и сильно упрочняется. Механические свойства чистого никеля в зависимости от степени деформации значительно изменяются. Предел прочности, а также текучести и

твердость с увеличением степени деформации повышаются, а относительное удлинение и сужение поперечного сечения резко снижаются. Путем отжига при температурах выше температуры рекристаллизации, которая в зависимости от степени чистоты и состояния никеля колеблется в пределах 200-600°С, наклеп может быть снят» [1].

«Модуль нормальной упругости никеля (при растяжении) почти такой же, как у стали, и колеблется в пределах 21000—23000 кГ/мм², а модуль упругости при скручивании принимается равным 7300 кГ/мм²» [1].

«В связи с применением никеля в качестве основы для жаропрочных сплавов особое значение имеют механические свойства никеля при высоких температурах.

«Как видно из кривых, при всех температурах испытания никель имеет высокую пластичность, а предел прочности его с ростом температуры понижается» [1].

«Характерной особенностью чистого никеля является способность сохранять свои пластические свойства при высоких и очень низких температурах. При понижении температуры до —253°С происходит некоторое повышение предела прочности при сохранении высокой пластичности никеля» [1].

«Путем отжига при температурах выше температуры рекристаллизации, которая в зависимости от степени чистоты и состояния никеля колеблется в пределах 200—600° С, наклеп может быть снят» [1].

«В зависимости от температуры отжига, изменяются и механические свойства никеля. Так, предел прочности и предел текучести с увеличением температуры отжига понижаются, а относительное удлинение увеличивается» [1].

«В последнее время большое значение приобрел вопрос влияния радиоактивного облучения на свойства металлов и сплавов. Многочисленными исследованиями установлено, что длительное радиоактивное облучение значительно повышает предел прочности и твердость чистых металлов и резко снижает их пластичность» [1].

Изменение свойств технического никеля при высоких температурах показана на рисунке б» [1].

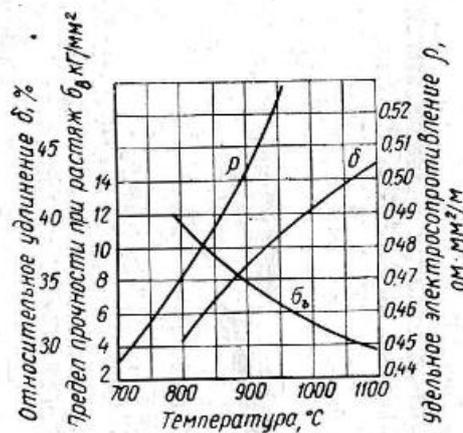


Рисунок 6 – Изменение свойств технического никеля при высоких температурах

Главный показатель степени частоты никеля его технологические свойства. Металл должен быть хорошо дегазирован и раскислен, для обработки давлением (штамповка, прокатка, ковка).

«Для достижения наилучшего результата в ковке и прокатке никеля, температура металла должно составлять 1170-1260° С» [1].

1.2.3 Химические свойства никеля

«Химические свойства никеля и других металлов зависят от электронного строения атомов и прежде всего от числа внешних электронов. Металлы—аналоги никель, кобальт и железо имеют одинаковое число валентных электронов, но разное число электронов в незаполненной 3d- оболочке. Поэтому в свойствах этих трех металлов вместе с общими чертами наблюдаются и различия, наиболее ярко проявляющиеся в химическом взаимодействии никеля с другими элементами периодической системы Менделеева» [1].

«Никель имеет весьма низкую химическую активность. В атмосферных условиях он является одним из наиболее коррозионностойких металлов. На поверхности никеля в начальной стадии окисления образуется очень тонкая и прочная защитная пленка, которая препятствует дальнейшему окислению и коррозии. При нагревании никель реагирует с серой и сернистыми соединениями, образуя легкоплавкие эвтектические смеси, способствующие быстрому разрушению материала при эксплуатации» [1].

«В атмосфере водорода три умеренных температурах никель приобретает хрупкость (так называемая «водородная хрупкость»).

Возникновение ее связано с диффузией водорода в никель, адсорбцией его по границам зерен» [1].

«Никель имеет весьма низкую химическую активность. В атмосферных условиях он является одним из наиболее коррозионностойких металлов. На поверхности никеля в начальной стадии окисления образуется очень тонкая и прочная защитная пленка, которая препятствует дальнейшему окислению и коррозии. Никель устойчив против коррозии в расплавах щелочей любой концентрации, в нейтральных и щелочных растворах солей соляной, угольной, серной, азотной и уксусной кислот» [15].

В контакте с серной и разбавленной соляной кислотами работающих при обычных температурах, никель пригоден для изготовления изделий.

«Никель достаточно стоек против действия разбавленных органических кислот и других органических соединений. Чистый никель не склонен к коррозионному растрескиванию» [1].

«Никель и его сплавы свариваются гораздо труднее стали главным образом потому, что обладают особыми физико-химическими свойствами, большой чувствительностью к наличию примесей и растворенных газов» [2].

«Основными факторами, затрудняющими сварку никеля, являются:

- а) сравнительно низкие литейные свойства никеля;
- б) образование при повышенных температурах тугоплавких пленок окиси никеля;
- в) большая склонность никеля к образованию в сварных швах пор, трещин и других дефектов» [2].

«При сварке сплавов никеля необходимо учитывать их физико-химические свойства. Например, нихром имеет большое электросопротивление и малую теплопроводность, склонен к образованию при сварке тугоплавкой пленки окиси хрома» [2].

«Монель имеет большую по сравнению с никелем усадку удельное электросопротивление и меньшую теплопроводность» [2].

«В противоположность железу никель не имеет фазовых превращений, осложняющих его металлургию. Вследствие этого можно было бы считать металлургию чистого никеля простой. Однако промышленный никель всегда содержит другие элементы примеси. Даже в чистом промышленном никеле их может быть до 0,5%. Большинство же никелевых сплавов содержит значительно большее количество примесей, добавляемых для получения требуемых свойств. Поэтому, для металлургов-сварщиков представляет особый интерес взаимодействие различных элементов с никелем и влияние их на свойства металла шва и околошовной зоны» [2].

1.2.4 Свариваемость никеля и его сплавов

«Сварка никеля и его сплавов затруднена вследствие высокой чувствительности к примесям. Наиболее отрицательное влияние на качество сварных швов оказывают углерод и сера. Содержание углерода ограничивают до 0,15% (по массе), а в некоторых сплавах – до 0,05% (по массе)» [1].

«Сера обладает большим химическим сродством к никелю. Особенно это заметно при температурах выше 400°C, когда в течение короткого времени образуется сульфид никеля, дающий легкоплавкую эвтектику с никелем с температурой плавления 645°C, которая располагается по границам зерен металла и может привести к появлению кристаллизационных трещин» [1].

«Никель и его сплавы проявляют большую склонность к образованию пор вследствие хорошей растворимости в расплавленном металле азота, водорода, кислорода и резкого снижения растворимости при затверждении металла. Легирование шва титаном, хромом и ванадием уменьшает пористость, а легирование марганцем, углеродом, кремнием, железом увеличивает. При аргонодуговой сварке вероятность образования пор уменьшается с повышением качества защиты зоны сварки» [2].

«При сварке никеля и его сплавов, особенно с медью, основной металл не претерпевает структурных превращений, не закаливается, поэтому нет необходимости применять предварительный подогрев или последующую термообработку» [2].

«Некоторые сплавы никеля, особенно с хромом и молибденом, проявляют склонность к межкристаллитной коррозии, для предотвращения которой сварное соединение подвергают отжигу. Сваривать такие сплавы газовой сваркой нежелательно, так как длительное воздействие высокой температуры может привести к понижению коррозионной стойкости» [1].

«При сварке никеля и его сплавов для улучшения свариваемости приходится вводить в зону сварки легирующие компоненты, поэтому химический состав сварного шва отличается от основного металла» [1].

«В зависимости от способа сварки никеля могут быть применены различные методы легирования металла шва. Наиболее надежным методом легирования является применение электродной проволоки определенного состава» [2].

1.2.5 Свойства наплавленного металла

Износостойкая наплавка

Изнашивание. «Эксплуатация машин сопровождается изнашиванием деталей, для восстановления которых и повышения их износостойкости применяют наплавку износостойкими сплавами. Для того чтобы наплавка обеспечивала существенное повышение износостойкости, необходим обоснованный выбор материала для каждого конкретного назначения» [28].

«Согласно классификации изнашивания по разным принципам, например по виду сред и условиям работы пар трения, выделяют механическое изнашивание, абразивное изнашивание, высокотемпературное окислительное изнашивание, изнашивание скоростной струей жидкости и др. По механизму разрушения трущихся поверхностей различают следующие виды изнашивания:

1. адгезионное;
2. абразивное;
3. при резании (задиры, царапание);
4. коррозионное;
5. поверхностная усталость;
6. ударное;
7. кавитационно – эрозионное» [28].

1. Адгезионное изнашивание. «Реальная поверхность металла всегда имеет некоторую волнистость и многочисленные микровыступы, поэтому контактирование двух поверхностей происходит лишь в отдельных выступающих точках. Трение двух металлических поверхностей под некоторой нагрузкой происходит в условиях пластической деформации металла в точках фактического контакта, развитие которой сопровождается сближением поверхностей вплоть до активизации сил сцепления между атомами металлов сопряженных поверхностей и возникновения адгезии на ограниченных участках» [28].

«При трении металлических поверхностей теплота трения вызывает образование поверхностной оксидной пленки, которая при достаточно высокой прочности способствует повышению износостойкости, если под ней находится металл высокой твердости. В случае низкой твердости металла оксидная пленка, даже достаточно прочная, легко разрушается, создавая благоприятные условия для возникновения и развития изнашивания» [28].

2. Абразивное изнашивание. «Такое изнашивание происходит в случае, если между трущимися поверхностями тел попадают частицы твердого вещества, вызывающие истирание этих поверхностей в результате резания или царапания» [28].

«Предотвращение абразивного изнашивания требует защиты трущихся металлических поверхностей от абразивных частиц. Считают, что для уменьшения этого изнашивания предпочтительно применение металла по возможности высокой твердости. Абразивное изнашивание мягких и твердых поверхностей имеет свои особенности. В частности, при трении металлических поверхностей низкой твердости абразивные частицы утопают в металле, а при высокой твердости металла они оставляют царапины на трущихся поверхностях, что делает абразивное изнашивание похожим на рассматриваемый ниже процесс изнашивания при задирации» [28].

3. Изнашивание при резании (задире, царапании). «Процесс изнашивания состоит в том, что выступающие части поверхности металла высокой твердости при трении вызывают пластическое отеснение и локальный срез (микрорезание) сопряженного поверхностного слоя металла низкой твердости. Этот вид изнашивания, как и абразивное изнашивание, в равной мере выражается в

образовании задира и царапин на трущихся поверхностях. Однако при абразивном изнашивании повреждение поверхности вызывается инородными твердыми частицами (песком, стружкой), попадающими в зазор между трущими поверхностями извне, тогда как изнашивание при микрорезании, задире и царапании вызывается поверхностями самих трущихся тел. По степени разрушения поверхностей износ при резании может в 10 раз превышать значение износа, вызываемого абразивной средой» [28].

4. Коррозионное изнашивание. «При работе в агрессивных средах коррозия деталей зачастую ускоряет их износ. В условиях трения, обеспечивающего очистку поверхности от образовавшихся продуктов коррозии, последняя прогрессирует быстрее. В частности, среда из состава дизельного топлива и влага, конденсирующая на стенках цилиндров дизеля, ускоряют износ цилиндров, развивающихся в условиях коррозии» [28].

5. Поверхностная усталость. «При длительном движении составов по железнодорожному пути на рабочей поверхности рельсов возникают чешуйчатые выбоины. Такая форма износа связана с тем, что при периодическом действии напряжений сдвига в поверхностном слое возникают локальные разрушения. Это явление носит название поверхностной усталости» [28].

«При трении качения по металлической поверхности объекта, создающего большое давление, на глубине $\sim 0,3$ мм возникают максимальные напряжения. При длительном качении на участках действия максимальных напряжений происходит локальные разрушения типа усталостных, приводящие к отделению свободных частиц. Начало возникновения износа, развивающегося даже в присутствии смазки, непредсказуемо» [28].

6. Ударное изнашивание. «При длительном действии ударной нагрузки возникает пластическая деформация поверхностного слоя с отделением из него мелких частиц обломков металла» [28].

7. Кавитационно – эрозионное изнашивание. «При быстром движении металлического изделия внутри жидкости внутри изделия, ударное действие пузырей, возникающих при колебаниях давления, создает на металлической поверхности большую циклическую нагрузку, вызывающую износ, называемый обычно кавитационным» [28].

1.3 Уплотнительное кольцо

«Уплотнительное кольцо реактора ВК-50 изготовлено из никеля, металла с низкой химической активностью. Так же никель обладает высокой стойкостью против окисления при нагревании. Поверхность никеля покрыта тонкой пленкой оксида NiO, которая прочно предохраняет металл от дальнейшего окисления» [21].

«Физические, химические, механические и другие свойства никеля подвергались разносторонним и весьма глубоким исследованиям как в Советском Союзе, так и за рубежом. Слишком подробное изложение результатов этих исследований не вызывается необходимостью, а потому в настоящей главе приведены сведения только о таких физических и химических свойствах никеля, которые оказывают наибольшее влияние на его свариваемость, определяют выбор метода и технологических параметров сварки» [1].

Уплотнительное кольцо из никеля устанавливается между верхней плоской крышкой и корпусом атомного реактора. При проведении ремонта на данном уплотнительном кольце, гарантирующем уплотнение реактора, необходимо соблюдать требования конструкторской документации (КД) и ориентироваться на практический опыт эксплуатации колец с критическими геометрическими размерами.

Высота кольца составляет 75 мм, ширина 66 мм, внешний диаметр (размер К) - 3353-1 мм, внутренний диаметр (размер М) - 3222-1 мм. Внутренние пояса имеют ширину 5 мм, внешние - 4 мм, высота поясов - 2 мм.

Угол, прилегающий к корпусу реактора (размер Ж) $2^{\circ}-10$, угол прилегающий к УВБ реактора (размер Е) $46^{\circ}30'+20'$, совместный угол между уплотняющими поверхностями кольца (размеры Д, Г) $45^{\circ}30'-30'$.

Практически кольцо уплотнялось при диаметре 3351, соблюдение проектной конфигурации на двух нижних поясах поверхностей Г и Д и проточки между ними, отсутствие на уплотняющих поверхностях Г и Д кольца трещин, ризок, забоин, царапин и пор.

После демонтажа уплотнительные пояса были изношены или вовсе стерты на наружной и внутренней поверхностях. Внутренний диаметр 3203 мм, ширина 60 мм, высота кольца составляла 70 мм. Из-за механических воздействий на

уплотнительное никелевое кольцо вертикальный угол составляющий 2° , отсутствовал.

Конструкция уплотнительного кольца показана на рисунке 6.

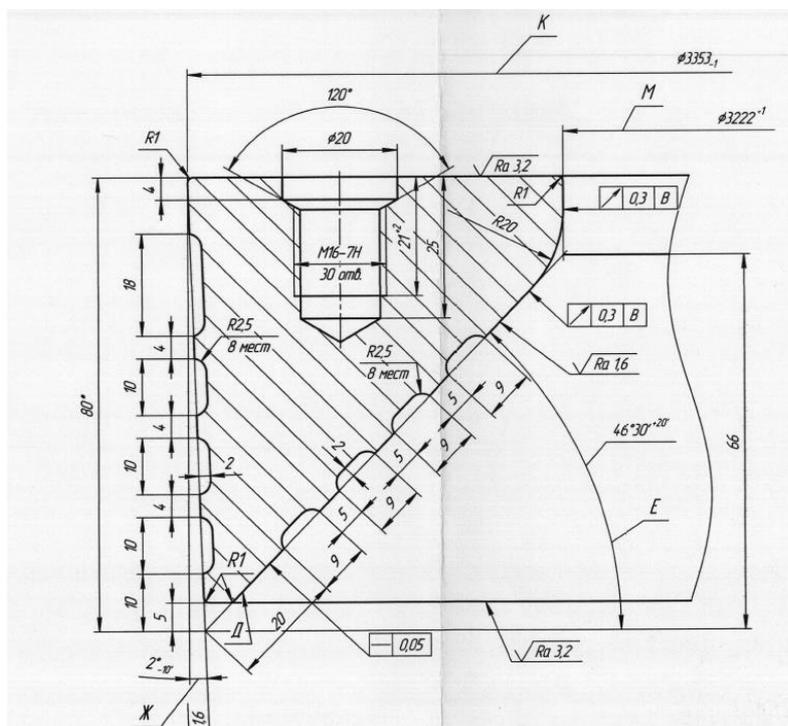


Рисунок 7 – Конструкция уплотнительного кольца

После проведения работ по восстановлению при соблюдении указанных критических условий и параметров, достигается уплотнение основного соединения реактора ВК-50, что позволяет принять в эксплуатацию никелевое кольцо. Основной задачей является восстановление высоты изделия, наплавка всех уплотнительных ремней, восстановление внутреннего и внешнего диаметров кольца, а также восстановление углов 46° и 2° .

1.4 Анализ и свойства жаропрочных сплавов

Сплав Н95Г является одним из жаропрочных сплавов на никелевой основе, обладающим рядом значительных преимуществ. Жаропрочные сплавы на основе никеля широко применяются в различных отраслях, таких как авиация и энергетика, благодаря своим уникальным свойствам. Одним из основных преимуществ жаропрочных сплавов на основе никеля является их высокая

термостойкость. Это означает, что эти сплавы способны выдерживать высокие температуры без потери своих механических и химических свойств.

Высокая температура плавления сплавов также играет важную роль, позволяя им работать в условиях экстремальных температур.

Сплавы на основе никеля обладают высокой коррозионной стойкостью, что делает их идеальным выбором для применения в условиях, где материал подвержен воздействию агрессивных сред.

Низкая термическая усталость, ползучесть, эрозия и термический удар также являются важными характеристиками, которые делают эти сплавы надежными и долговечными в экстремальных условиях. Применение жаропрочных сплавов на основе никеля в авиационных и энергетических турбинах, ракетных двигателях и других областях техники и промышленности обусловлено их уникальными свойствами.

Эти сплавы обеспечивают надежность и долговечность в условиях высоких температур и агрессивной среды, что делает их неотъемлемой частью современных технологий.

Таким образом, жаропрочные сплавы на основе никеля, включая сплав Н95Г, представляют собой важный класс материалов, обладающих уникальными свойствами, которые делают их необходимыми для решения сложных технических задач в различных отраслях промышленности и науки.

Химический состав сплава указан в таблице 1.

Таблица 1 – «Химический состав сплава (ЭП-18) Н95Г» [22]

Fe, %	Si, %	Mn, %	Co, %	Ti, %	Ni, %	P, %	C, %	S, %
<2	<0,5	1-2	<0,4	<0,5	94,47-99	<0,03	<0,08	<0,02

1.5 Основные сведения и технические данные уплотнительного кольца

Общие сведения: Составное уплотнительное кольцо предназначено для герметизации главного разъема реактора.

Основной конструкционный материал: Сплав жаропрочный на никелевой основе (ЭП-18) Н95Г ТУ 14-1-3112-81[3].

Технические данные

Габаритные размеры:

– высота, мм 75;

– диаметр, мм 3353;

Масса изделия, кг 250;

Параметры окружающей среды в различных режимах эксплуатации:

– давление наружное, МПа до 5,5;

– температура, °С до 275;

Окружающая рабочая среда – пароводяная смесь (дистиллят).

При нагревании никель обладает высокой стойкостью против окисления. Кольцо реактора ВК-50 изготовлено из никеля.

«Температура плавления никеля в зависимости от степени его чистоты лежит в пределах 1452—1455° С, а температура кипения при атмосферном давлении по различным данным равна 2730—3080° С» [2].

«Характерной особенностью чистого никеля является способность сохранять свои пластические свойства при высоких и очень низких температурах. При понижении температуры до —253°С происходит некоторое повышение предела прочности при сохранении высокой пластичности никеля» [2].

«При нагревании никель реагирует с серой и сернистыми соединениями, образуя легкоплавкие эвтектические смеси, способствующие быстрому разрушению материала при эксплуатации»[2].

«В атмосфере водорода при умеренных температурах никель приобретает хрупкость (так называемая «водородная хрупкость»). Возникновение ее связано с диффузией водорода в никель, адсорбцией его по границам зерен» [2].

1.6 Комплексная характеристика способов восстановления

«Восстановление деталей – это технологический процесс возобновления исправного состояния и ресурса этих деталей путем возвращения им утраченной части материала из-за изнашивания и доведения до нормативных значений уровня свойств, изменившихся за время длительной эксплуатации машин» [15].

«Некоторые виды деталей отказывают в эксплуатации раньше других деталей в агрегате и определяют его послеремонтную наработку. Отказы этих деталей выявляются во время заводских испытаний и отремонтированных агрегатов путем длительного наблюдения, при этом изучаются и причины отказов»[15].

«Для восстановления изношенных деталей машин и аппаратов, а также для упрочнения и нанесения слоев на поверхность деталей с особыми свойствами в промышленности применяют различные способы» [2].

«Существуют два типа покрытий: защитные и восстановительные. К защитным можно отнести хромирование, никелирование, цинкование, алюминирование, эмалирование и др» [2].

«Защитные покрытия используют в противокоррозионной практике для изоляции металла от агрессивной среды. Чтобы обеспечить хорошую защиту от коррозии покрытие должно быть сплошным, иметь хорошую адгезию с основным металлом (сцепление), быть непроницаемым для агрессивной среды, равномерно распределяться по поверхности, обладать высокой износостойкостью, жаростойкостью и твердостью (в отдельных случаях)» [2].

«Восстановление изношенных деталей наплавкой оказывается экономически выгодно ввиду того, что масса наплавленного материала составляет всего лишь 2-4% от массы восстанавливаемой детали и это позволяет возвращать в строй изношенные детали. Данный способ применяют для восстановления геометрии и размеров деталей» [14].

«Наплавка – это нанесение слоя расплавленного металла на оплавленную металлическую поверхность детали путем плавления присадочного материала теплотой кислородно - ацетиленового пламени, электрической или плазменной дуги» [3].

«В основе технологии наплавки лежат те же процессы, что и технологии сварки. При этом из разных способов сварки, имеющих промышленное применение, для наплавки используются методы, обеспечивающие следующие условия:

На рисунке 8 показаны способы восстановления и упрочнения поверхностей деталей.



Рисунок 8 – Способы восстановления и упрочнения поверхностей деталей

- неглубокое и равномерное проплавление основного металла;
- образование ровного валика с хорошим внешним видом;
- отсутствие склонности к возникновению дефектов;
- высокая технологичность процесса;
- высокая скорость процесса.

Таким требованиям отвечают термические виды сварки» [15].

Основная цель качественной наплавки никеля и его сплавов является получение высокого качества рабочей поверхности свариваемого металла и сварочной проволоки (присадки) [12].

1.7 Ручная дуговая наплавка покрытыми электродами

«Для ручной дуговой наплавки никеля и его сплавов применяют электроды с качественными покрытиями. Процесс ведут на постоянном токе обратной полярности, при этом значение тока назначают пониженным по сравнению с токами, применяемыми при сварке стали. Скорость наплавки также понижена на 15%. Рекомендуется вести наплавку в нижнем положении короткой дугой для уменьшения угара стабилизирующих и раскисляющих элементов, содержащихся в электродной проволоке. При наплавке производят продольные небольшие колебания конца электрода, это способствует газоудалению и получению более плотных швов, чем при поперечных колебаниях. При наплавке никеля и его

сплавов толщиной более 15 мм используется многопроходная наплавка с предварительным подогревом кромок до 200-250°C, при этом требуется качественная зачистка поверхности промежуточных слоев» [21].

«Опыт показал, что применение покрытых электродов для наплавки никеля, большинство из них не обеспечивает получение бездефектных швов (без пор). Поэтому ведутся работы по совершенствованию электродов для наплавки никеля» [2].

«Преимущества ручной дуговой наплавки:

- являются простота, доступность и мобильность оборудования и технологии;
- подходит для работы с черными и цветными металлами;
- возможность получения наплавленного металла практически любой системы легирования. Не нужно защищать сварочную ванну от кислорода при помощи подачи дополнительного газа, использования каких-либо веществ.» [3].

На рисунке 9 показана схема ручной дуговой наплавки покрытыми электродами.

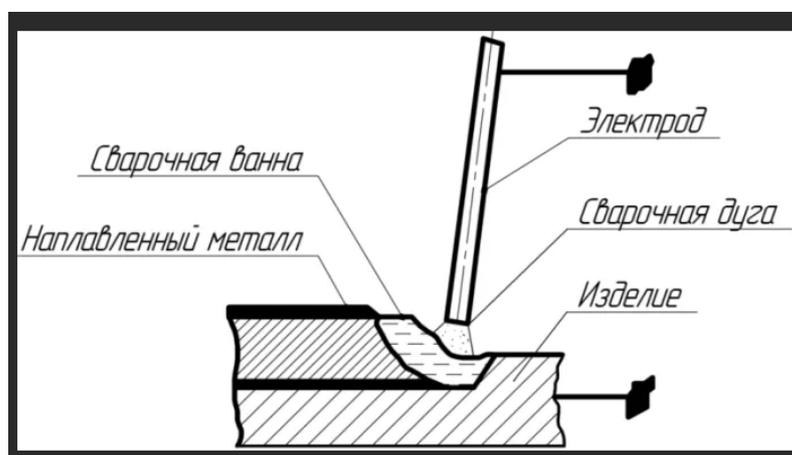


Рисунок 9 – Схема ручной дуговой наплавки покрытыми электродами

«Недостатки ручной дуговой наплавки:

- низкая производительность;
- тяжелые условия труда;
- непостоянство качества наплавленного слоя, большое проплавление основного металла» [3].

1.8 Наплавка плавящимся электродом в среде защитного газа

«Наплавка плавящимся электродом в среде защитного газа протекает в условиях газового потока и подачи сварочной проволоки (наплавочного материала), что обеспечивает защиту зоны дуги от окружающего воздуха» [24].

«В качестве защитного газа используют CO_2 , хотя в последнее время распространена практика наплавки в смеси углекислого газа с аргоном и другими инертными газами» [24].

«При осуществлении износостойкой наплавки в CO_2 используют проволоку сплошного сечения или порошковую проволоку. Эти два вида проволоки имеют разное назначение в соответствии с их особенностями» [24].

В таблице 2 перечислены особенности применения проволок сплошного сечения и порошковой проволоки для наплавки.

Таблица 2 – Особенности применения порошковой проволоки и проволоки сплошного сечения для наплавки

Показатели процесса наплавки	Сплошного сечения проволока	Проволока порошковая
Эффективность наплавки и скорость плавления	Для порошковой проволоки выше	Для проволоки сплошного сечения ниже
Питание при наплавке	Постоянным током	Переменным и постоянным током
Шлакообразование	Отсутствует	Обеспечивается покрытие валика шлаком
Состояние поверхности валика	При наплавке порошковой проволокой хуже, что связано с разбрызгиванием металла	Хорошее
Глубина проплавления	При наплавке порошковой проволокой больше	При наплавке проволокой сплошного сечения меньше
В наплавляемый металл введение легирующих элементов	Наплавка металла низкой твердости с невысоким содержанием легирующих элементов	Возможно получение высоколегированного наплавленного металла с высоким уровнем твердости
Основное назначение	Для наплавки деталей, например зубчатых колес кранов подвергаемых последующей механической обработке,	Для наплавки деталей, например траков гусениц и катков тракторов применяемых без последующей обработки,

Преимущества ручной дуговой наплавки плавящимся электродом в среде защитного газа:

- невысокая конечная стоимость с учетом высокой производительности наплавки;
- стабильный сварочный процесс;
- способность соединять заготовки значительных толщин без скосов кромок;
- незначительность потерь разбрызгивание металла и угара;
- надежная защита сварочной зоны от атмосферного воздействия;
- возможность работы практически со всеми видами металлов и сплавов, даже подвергшимися коррозии [24].

На рисунке 10 показана схема горелки плавящимся электродом в среде защитного газа.

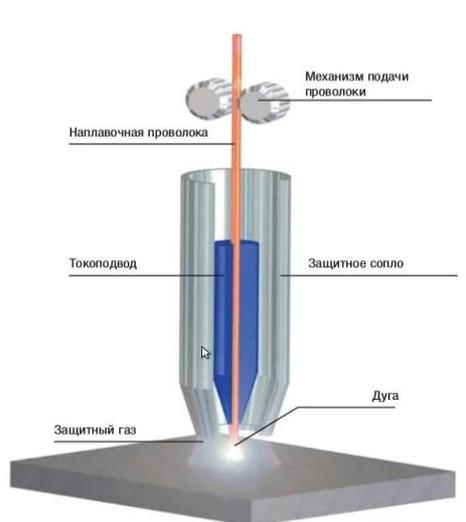


Рисунок 10 – Схема горелки плавящимся электродом в среде защитного газа

«Недостаток этого способа, присущий и другим способами с применением защитных газов, связан с невозможностью работы на открытом воздухе из-за влияния ветра на процесс наплавки» [2].

1.9 Электронно-лучевая наплавка

«Электронно-лучевой сваркой можно сваривать практически все марки никелевых сплавов, при этом удается получать соединения больших толщин за один проход и с большой скоростью. Следует применять рекомендации такие же, как при аргонодуговой сварке» [1].

«Высокая чистота атмосферы (вакуум) и особенности термического цикла позволяют получать соединения с механическими свойствами на уровне основного металла» [1].

«Преимущества – это высокая концентрация теплоты позволяет за один проход сваривать металлы толщиной от 0,1 до 200 мм, для сварки требуется в 10-15 раз меньше энергии, чем для дуговой сварки, отсутствует насыщение расплавленного металла газами» [24].

На рисунке 11 показана схема электронно-лучевой сварки.

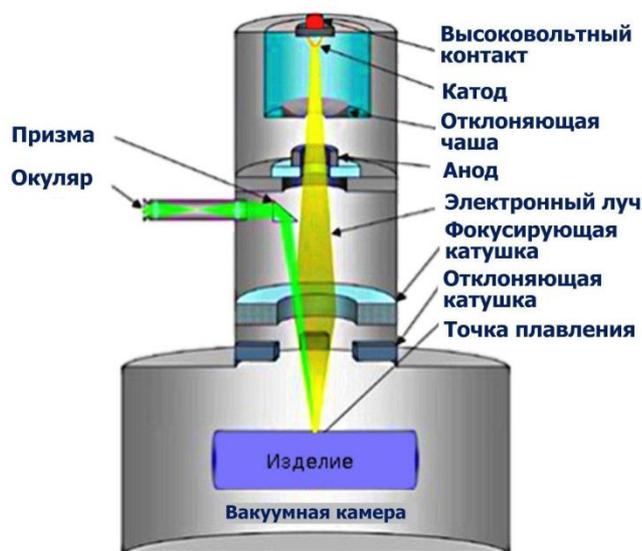


Рисунок 11 – Схема электронно-лучевой сварки

Недостатки электронно-лучевой наплавки – образование непроваров и полостей в корне шва, необходимость создания вакуума в рабочей камере.

1.10 Газовая наплавка

«Этот способ применяют при наплавке никеля, медно-никелевых сплавов. При кислородно-ацетиленовой наплавке никеля и медно-никелевых сплавов необходимо поддерживать нормальное пламя, так как избыток кислорода вызывает окисление расплавленного металла и хрупкость. При наплавке сплавов, содержащих хром, пламя должно быть более восстановительным, но не настолько, чтобы науглероживать наплавленный металл, насыщать его водородом, закисью углерода и другими газами» [2].

«При наплавке никеля мощность пламени соответствует удельному расходу ацетилену 120-140 л/г на 1 мм толщины свариваемого изделия. Главным дефектом при газовой наплавке являются поры, из которых при нагрузке возникают трещины. Качество наплавки зависит от состава флюсов и раскислителей, конструкции соединения, положения швов, а также от опытности сварщика. Большое влияние оказывает также состав присадочной проволоки. Для наплавки никеля рекомендуется применение присадочной проволоки такого же состава, что и основной металл. Хорошие результаты дает проволока, легированная Mn, Mo, Si, Ti. При этом марганец служит раскислителем и связывает серу, кремний придает металлу лучшую жидкотекучесть, а магний связывает остатки серы. Проволока должна иметь чистую поверхность. Диаметр ее рекомендуется выбирать равным половине толщины свариваемого металла» [1].

Во время наплавки очень важно соблюдать определенные правила и техники, чтобы обеспечить высокое качество сварного соединения.

Одним из ключевых аспектов является избегание перемешивания ванны, что может привести к выгоранию раскислителей и загрязнению металла шва. Качество шва можно определить по его цвету, который является надежным показателем процесса сварки.

Хороший шов обычно имеет матово-коричневую или серо-желтую окраску, что свидетельствует о правильной температуре и составе металла. С другой стороны, шов, сваренный с перегревом, будет блестящим и иметь сине-черный цвет, что указывает на возможные дефекты в процессе сварки.

Для избежания пористости сварного соединения необходимо следить за тем, чтобы присадочная проволока и ядро пламени горелки не касались ванны.

Также рекомендуется производить легкие колебательные движения горелкой во время сварки, чтобы обеспечить равномерное распределение тепла и материала.

Особое внимание следует уделить применению флюсов, которые играют важную роль в процессе сварки. Флюсы помогают защитить металл от окисления и обеспечивают правильное смачивание поверхности, что способствует образованию качественного шва.

Таким образом, соблюдение правильных техник и процедур во время наплавки является ключевым фактором для получения высококачественного

сварного соединения. Следуя указанным рекомендациям можно избежать дефектов и обеспечить прочное и надежное соединение деталей. На рисунке 12 показана схема газовой горелки.

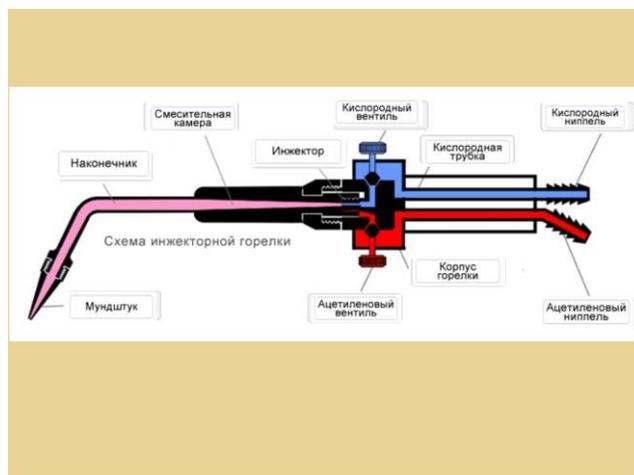


Рисунок 12 – Схема газовой горелки

Преимущества газовой наплавки:

- доступность расходных материалов;
- простота транспортировки баллонов с газом и другого оборудования к месту работы;
- обеспечение нужного диапазона температур для плавления;
- допустимость применения для сварки многих видов металлов, регуляция скорости горения и вида пламени при использовании флюса и припоя [21].

Недостатки газовой наплавки:

- излишне большая зона нагрева поверхности;
- не слишком устойчивые к температурному воздействию элементы изделия, расположенные вблизи зоны сварки, могут деформироваться нагревом;
- низкая производительность при сварке толстых заготовок [21].

1.11 Наплавка ручная аргодуговая вольфрамовым электродом

«В настоящее время этот способ является основным для наплавки никеля и его сплавов. Задача обеспечения требуемого качества швов при наплавке в среде аргона неплавящимся электродом решается путем выбора присадочных проволок, содержащих раскислители и нитридообразующие элементы (например, марок НМц

2,5, НМц 5, НМцАТ-3-1,5-0,6). Эти проволоки наиболее надежно обеспечивают получение швов без пор и трещин» [2].

«При аргонодуговой наплавке расплавленный никель в дуге и сварочной ванне надежно предохраняется от окисления защитной струей аргона, в результате чего обеспечивается постоянное и высокое качество сварных соединений. Этот способ хорошо зарекомендовал себя при наплавке никеля толщиной до 2 мм.

Однако на практике при изготовлении никелевых конструкций и аппаратуры, особенно из листов большой толщины, не всегда удается обеспечить достаточную защиту расплавленного металла от окружающего воздуха. Применение удлиненных наконечников горелок специальной формы, защита аргоном обратной стороны шва и другие мероприятия вызывают дополнительные конструктивные и технологические трудности, а главное не всегда обеспечивают получение положительных результатов» [2].

«В этом случае все-таки некоторое количество кислорода попадает в зону дуги, образует закись никеля (NiO), растворяющуюся в жидком металле. Взаимодействие закиси никеля (NiO) с находящимся в никеле водородом служит причиной образования в объеме металла шва водяных паров и сильной пористости сварных швов» [2].

«Известно, что никель растворяет большое количество водорода как в жидком, так и в твердом состоянии. При кристаллизации никель может растворить водорода в 2 раза больше, чем аустенитная сталь, и в 3 раза больше, чем низкоуглеродистая сталь.

Положительное действие водорода в зоне дуги объясняется тем, что кислород воздуха, находящийся в атмосфере дуги, в первую очередь окисляется водородом и поэтому возможность образования закиси никеля (NiO) в расплавленном металле будет сведена к минимуму, в результате устраняются и причины образования пор. Количество водорода в защитном газе необходимо строго контролировать, так как при чрезмерной его концентрации (более 20%) поры могут появиться уже вследствие избытка водорода. Этот способ сварки применим для получения однопроходных швов и корневых швов в многопроходных швах» [13].

Механизм положительного действия водорода в зоне дуги при аргонодуговой наплавке никеля является важным аспектом процесса, который способствует улучшению качества сварочного соединения.

В данном случае, кислород воздуха, присутствующий в атмосфере дуги, будет в первую очередь окислять водород. Это имеет важное значение, поскольку возможность образования закиси никеля в расплавленном металле будет сведена к минимуму. В результате этого процесса, в момент кристаллизации сварочной ванны, водород не будет взаимодействовать с закисью никеля, что в свою очередь устраняет причины образования пор.

Таким образом, использование водорода в зоне дуги при аргонодуговой наплавке никеля способствует улучшению структуры сварного соединения и предотвращению появления дефектов.

Для наплавки никеля и никелевых сплавов, применение данного механизма положительного действия водорода является эффективным способом обеспечения качественного сварочного соединения.

Важно учитывать все аспекты процесса и правильно настраивать параметры наплавки, чтобы обеспечить оптимальные условия для использования водорода в зоне дуги. Только таким образом можно достичь высоких результатов и обеспечить надежное соединение металлических деталей.

«Для наплавки никеля и никелевых сплавов применяли следующие способы сварки: ручную дуговую, плавящимся электродом в среде защитного газа, электроннолучевую, газовую, вольфрамовым электродом в среде инертных газов. Выбор способа и технологии сварки зависит от конкретных условий работы сварной конструкции, т.е. сводится к обеспечению наиболее важной для данных условий характеристики свойств сварного соединения. Поэтому даже для одного и того же сплава или группы сплавов технология сварки может быть различной в зависимости от условий эксплуатации сварного изделия» [13].

На рисунке 13 показана схема горелки ручной аргонодуговой наплавки вольфрамовым электродом.

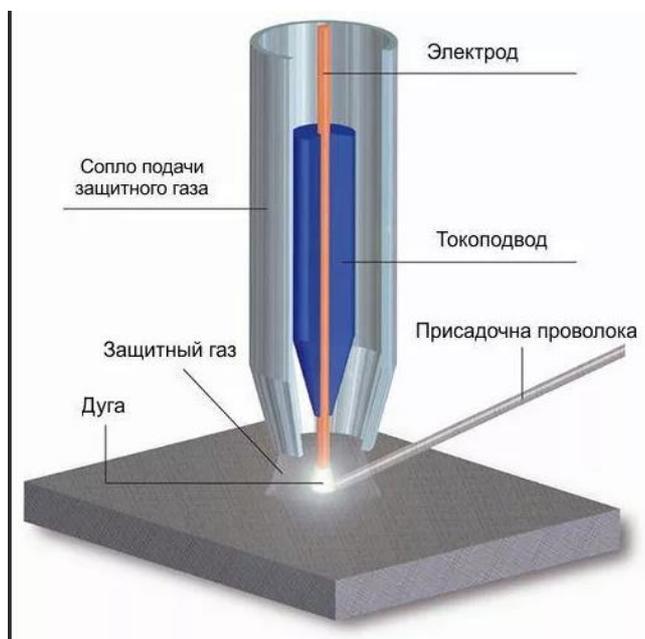


Рисунок 13 – Схема горелки ручной аргодуговой наплавки вольфрамовым электродом

Вывод: Рассмотрев преимущества каждого способа для восстановления уплотнительного кольца выбрали аргодуговую наплавку в среде инертного газа (аргон). При наплавке в среде инертного газа (аргона) наблюдается меньший нагрев уплотнительного кольца, отсутствует трудоемкая операция по отделению шлаковой корки. Выбранный метод позволяет получить качественную наплавку с необходимыми свойствами.

Поэтому для достижения цели данной работы необходимо выполнить следующие задачи:

- 1 Разработка технологии наплавки уплотнительного кольца;
- 2 Подобрать оборудование и материалы для восстановления уплотнительного кольца;
- 3 Исследование геометрических параметров наплавленных валиков и качества наплавки дефектных мест уплотнительного кольца.

2 Обоснование выбора наплавочных материалов и оборудования для наплавки уплотнительного кольца

2.1 Наплавка сварочной проволокой ДКРНТ 3,0 БТ НП-2

«Для жаропрочного сплава на никелевой основе электродную проволоку выбирают близкой по составу к основному металлу. Диаметр проволоки практически не зависит от толщины металла и выбирается в зависимости от подготовленных кромок в пределах от 3 до 5 мм» [2].

Сплав Н95Г практически состоит из чистого никеля, поэтому сварочную проволоку подбирали близкую по составу к основному металлу. Применили никелевую сварочную проволоку ДКРНТ 3,0 БТ НП-2 по ГОСТ 2179-75 [6]. Химический состав сварочной проволоки ДКРНТ 3,0 БТ НП-2 показан в таблице 2.

Таблица 2 – «Химический состав сварочной проволоки НП-2» [22]

C, %	Cu, %	Fe, %	Mg, %	Mn, %	Ni, %
≤0,02	≤0,25	≤0,4	≤0,05	≤0,35	≥99,5

При наплавке сварочной проволокой НП-2 возникли затруднения, на сварном шве наблюдается скопление пор.

Во время сварки никеля и его сплавов возможна проблема, известная как "водородная болезнь". Это происходит при высоких концентрациях водорода и закиси никеля (NiO) в зоне дуги. Кислород, попадающий в зону дуги, образует закись никеля, которая растворяется в жидком металле.

Взаимодействие закиси никеля с водородом в никеле приводит к образованию водяного пара и пористости сварных швов. На поверхности никеля в присутствии кислорода образуется плёнка из закиси никеля NiO. Хотя растворимость закиси никеля в твёрдом металле крайне мала, она значительна в жидком металле.

При температуре 1438 °С закись никеля образует с никелем эвтектику, содержащую до 1,1% NiO. Чтобы предотвратить или уменьшить риск возникновения "водородной болезни", можно использовать различные методы, такие как предварительная отгрузка водорода из материала перед сваркой,

использование защитных газов с низким содержанием водорода, контроль температуры сварки и т. д.

На рисунке 14 после наплавки двух слоев видимые поры, что недопустимо при наплавки никелевого кольца.



Рисунок 14 – Наплавка сварочной проволокой ДКРНТ 3,0 БТ НП-2

«Растворимость водорода в никеле изменяется с изменением температуры. При переходе из твердого состояния в жидкое растворимость водорода в никеле скачкообразно возрастает и вблизи температуры плавления (1465 °С) достигает 38,85 см³/100г. При дальнейшем повышении температуры растворимость водорода в никеле продолжает возрастать» [1].

Азот практически не растворяется в твердом никеле до температуры плавления, но в жидком никеле, особенно при условиях дугового разряда, его растворимость может быть значительной.

Снижение растворимости азота и водорода при охлаждении может привести к образованию пор. Хотя концентрация водорода, необходимая для образования пористости, является относительно высокой (40% и более), основным и наиболее опасным источником пор в условиях дуговой сварки никеля высокой чистоты является азот.

Присутствие азота в защитной атмосфере более 0,05% приводит к появлению пор в металле шва. При наплавке никеля марок НП-2, НП-3 и НП-4, содержащего углерод (0,15 ÷ 0,2 %), образование пор возможно в связи с развитием реакции:



При наплавке никеля с высоким содержанием кислорода в атмосфере, содержащей водород, может протекать реакция «водородная болезнь»:



Развитие реакций восстановления Ni из NiO особенно вероятно при охлаждении, когда NiO в связи с уменьшением растворимости выделяется в виде самостоятельной фазы. Для предотвращения образования пор и трещин при сварке никеля также важно обеспечить правильную температурную обработку металла. Нагрев никеля должен быть равномерным, чтобы избежать возможных деформаций и напряжений в материале. Кроме того, необходимо контролировать скорость нагрева и охлаждения, чтобы избежать возможного появления микротрещин.

Для улучшения пластичности никеля и предотвращения образования эвтектики с серой можно также использовать специальные раскислители или добавки к сплаву. Например, добавление меди к никелю может снизить влияние серы и улучшить механические свойства материала.

Такие дополнительные меры помогут обеспечить качество сваренных соединений и предотвратить возможные проблемы с трещинами и порами.

Необходимо также учитывать влияние других легирующих элементов на свойства никеля. Например, добавление молибдена или ванадия может улучшить прочность и устойчивость к коррозии материала.

Подбор оптимального состава сплава и правильное проведение технологических процессов играют ключевую роль в получении высококачественных сварных соединений из никеля.

Одним из ключевых аспектов при сварке никелевых сплавов также является поддержание правильной температуры сварочного процесса. Недостаточная или избыточная температура может привести к нежелательным изменениям в структуре металла шва, что в конечном итоге может ухудшить его механические свойства. Поэтому необходимо тщательно контролировать температуру и следить за ее равномерностью во время сварки. Дополнительно, для предотвращения появления пор в сварных швах рекомендуется использовать специальные методы

защиты от окисления, такие как обеспечение инертной атмосферы вокруг сварочного шва.

Это поможет минимизировать воздействие кислорода на металл и предотвратить возможное образование газовых пор в структуре сварочного соединения. Важным моментом также является правильная подготовка к поверхности перед сваркой, которая позволит обеспечить эффективное сцепление металлов и уменьшить вероятность появления дефектов в шве.

Для этого рекомендуется очистка поверхностей от загрязнений, окислов и жиров с помощью специализированных средств и методов, что сделает процесс сварки более надежным и эффективным. Таким образом, соблюдение всех вышеперечисленных рекомендаций и оптимальный подход к выбору материалов и технологий сварочного процесса позволят добиться высокого качества сварного соединения никелевых сплавов и исключить возможность появления пористости в швах.

Вывод: При совместном действии кислорода и водорода падают пластические свойства металла - сварное соединение становится совершенно непригодным к эксплуатации. Содержание газов в металле от слоя к слою возрастает при выполнении многослойных швов. При наплавке никелевых сплавов стремятся получить металл шва, с таким же химическим составом и структурой, как и свариваемый материал. На рисунке 14 видно, что это мнение ошибочное.

Сплав Н95Г не удалось сварить без пор, трещин, сварочной проволокой НП-2. Хотя химический состав и структура были идентичны основному металлу. Для получения качественной наплавки, использовали сварочную проволоку, содержащую раскислители и нитридообразующие элементы.

2.2 Наплавка сварочной проволокой НМцАТ 3-1,5-0,6

Основной задачей при сварке никелевого уплотнительного кольца из сплава Н95Г является качество наплавки которое обеспечивается выбором наплавочных материалов содержащих раскислители и нитридообразующие элементы (НМц 2,5, НМц6). В последние годы разработаны специальные комплекснолегированные проволоки марок НМцАТ 3-1,5-0,6 и НМцАТК-1-1,5-2,5-0,15.

Эти марки проволоки обеспечивают получение наплавки без пор и трещин.

В качестве основных марок сварочных материалов для выполнения наплавки, и исправления дефектов в наплавленном соединении применили сварочную проволоку

Таблица 3 – «Химический состав сварочной проволоки НМцАТ-3-1,5-06» [22]

Mn, %	Al, %	Ti, %	Si, %	Cu, %	Ni+Co, %	C, %	Fe, %	P, %	S, %	Mg, %	Всего
2,5-3,3	1,1-1,6	0,5-0,8	0,2	0,2	Ост.	0,05	0,15	0,005	0,005	0,1	0,8

Получения качественной наплавки никеля и его сплавов является обеспечением чистоты свариваемого металла и сварочной проволоки (присадки). Сварочная проволока марки НМцАТ-3-1,5-06 надежно обеспечивает получение швов без пор и трещин. При выполнении многослойных швов деталей после выполнения каждого слоя шва сварку следует прекратить, до остывания свариваемых кромок до температуры не более 100°C. С целью повышения качества наплавки применили при сварке никелевую проволоку легированную (до 3%) титаном, для предотвращения пор и трещин.

Для предупреждения кристаллизационных трещин, вызываемых присутствием серы, в практике находят применение присадочная проволока с добавками 2,5 и 5 % Mn (НМц2,5, НМцАТ-3-1,5-06 и НМц5). Металлургические особенности сварки никелевых сплавов указанных групп зависят от системы легирования и концентрации содержащихся элементов [24].

Наибольшую опасность при сварке этих сплавов представляет образование кристаллизационных трещин, возникающих в связи с развитием ликвидационных процессов при кристаллизации металла. Основным путем борьбы с их возникновением заключается в применении присадочных металлов высокой чистоты, свободных от примесей, способных образовывать легкоплавкие выделения при кристаллизации.

Наплавка велась на постоянном токе прямой полярности. Процесс наплавки начинали вне изделия, а при заварке кратеров плавно снижали ток, чтобы избежать в них появления трещин. При выполнении многопроходных швов после каждого

прохода производилось остывание металла до 100°С и зачистка от брызг и шлака. Наплавка получилась идеально чистая без пор и включений, несмотря на то, что наплавляли 50-70 мм.

На рисунке 15 показана наплавка сварочной проволокой НМцАТ-3-1,5-06



Рисунок 15 – Наплавка сварочной проволокой НМцАТ-3-1,5-06

Независимо от наличия сертификата проводится проверка каждой партии (плавки) сварочных материалов на:

- соответствие типу, марке сварочной проволоки методом стилоскопирования или химического анализа;
- механические свойства (на растяжение).

Химический анализ сварочной проволоки НМцАТ 3-1,5-0,6 показан на рисунке 16

АО "ГНЦ НИИАР"
Контрольно-измерительный
участок ОЭС

Кому: УТК ЭО
Основание: С.К.

ПРОТОКОЛ № 131/39 от «13» мая 2022 г.
Химического анализа

Химический анализ сварочной проволоки Св-НМцАТ 3-1,5-0,6 © 3 партии 2599
Проба № 131

Заказ 5273

Название элемента	Массовая доля элемента, %	Св-НМцАТ 3-1,5-0,6 ТУ48-21-284-73 нормируемый состав, %
Марганец	2,5	2,5-3,3
Алюминий	1,21	1,1-1,6
Титан	0,54	0,5-0,8
Кремний	0,056	≤0,2
Углерод	0,020	≤0,05
Медь	0,020	≤0,2
Железо	0,15	≤0,15
Магний	0,0007	≤0,1
Сера	0,0009	≤0,005
Фосфор	0,005	≤0,005
Никель + Кобальт	Ост.	Ост.

Заключение: по результатам спектрального анализа материал соответствует марке сварочной проволоки Св-НМцАТ 3-1,5-0,6 по ТУ48-21-284-73

Начальник КИУ: *Дудун Т.И.* ул. № САП. 02-02201
Лаборант: *Шибирова С.А.* ул. № САП. 01-07458
Лаборант: *Селивертова Т.Н.* ул. № САП. 01-07459

«13» мая 2022г.

Рисунок 16 – Химический анализ сварочной проволоки НМцАТ 3-1,5-0,6

Результаты испытаний механических свойства (на растяжение) сварочной проволоки НМцАТ 3-1,5-0,6 представлены на рисунке 17.

АО "ГНЦ НИИАР"
Контрольно-измерительный
участок ОЭС

Кому УТК ЭО
Основание С.К.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ № 3826 от 19 мая 2022г.

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Доставленные на контрольно-измерительный участок образцы, заказ 5273, входной контроль сварочной проволоки, прошли механические испытания на растяжение и показали следующие результаты:

№ п/п	Наименование образца	Температура испытания, °С	Клеймо	Марка материала, профиль, плавка	Толщина обр. d, мм	Нач. расч. длина l, мм	Площадь, F ₀ , мм ²	Разрушающая нагрузка R _в , кг (Н)	Предел прочности, σ _в , кг/мм ² (Н/мм ²)	Предел текучести, σ _т , кг/мм ² (Н/мм ²)	Относительное удлинение, δ, %	Относительное сужение ψ, %	Ударная вязкость ак, кгс/см ²	Угол загиба сплющ.	Место разрушения деф.	Результаты контроля
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.	-	+20°С	«599»	Св.-НМцАТ	2,95	-	6,83	752	110,04	-	-	-	-	-	-	-
2.	-	-«	«599»	3-1,5-0,6-3	2,95	-	6,83	757	110,75	-	-	-	-	-	-	-
3.	-	-«	«599»	Ø 3,0	2,92	-	6,69	758	113,19	-	-	-	-	-	-	-
4.	-	-«	«599»	парт. № 2599	2,95	-	6,83	754	110,33	-	-	-	-	-	-	-

Заключение: по результатам механических испытаний на растяжение анализируемый материал соответствует сертификатам данным.

Испытание проводил 19.05.2022г. *Петрова Е.А.* Удостоверение № САП.02-02198
Дата, роспись, Ф.И.О.
Заключение выдал 19.05.2022г. *Петрова Е.А.* Удостоверение № САП.02-02198
Дата, роспись, Ф.И.О.

Рисунок 17 – Результаты испытаний механических свойств сварочной проволоки НМцАТ 3-1,5-0,6

Порядок хранения, выдача в производство, возврат неиспользованных материалов определяется инструкциями предприятия, применяющего данные материалы. Контроль качества сварочных и наплавочных материалов должна осуществлять организация, использующая эти материалы при сварке (наплавке) оборудования и трубопроводов [4].

«Сварочная проволока перед использованием должна быть очищена от следов смазки, окислов и других загрязнений (способ очистки устанавливается предприятием-изготовителем оборудования)» [17].

«На каждой бухте проволоки должна быть закреплена бирка с двух сторон с указанием марки, диаметра, номера плавки и завода-изготовителя. Бирка на бухте должна сохраняться до момента полного использования проволоки» [17].

При аргодуговой наплавке в качестве защитного газа применять аргон высшего или первого сорта по ГОСТ 10157[19].

На каждом баллоне с газом должна быть этикетка (бирка) с указанием:

- наименования предприятия-изготовителя;
- наименования продукта, его сорта, обозначения НД;
- даты изготовления;
- номера баллона.

При приемке аргона, кроме проверки поставляемого газа на соответствие требованиям НД, должна производиться проверка давления в баллонах.

Перед запуском в производство защитные свойства газа необходимо проверить на «технологическое пятно». «Перед использованием каждого нового баллона производится пробная наплавка валика длиной 100-200 мм на пластину с последующим визуальным контролем на отсутствие недопустимых дефектов или на «технологическое пятно» путем расплавления пятна Ø 15-20 мм» [7]. При этом каждый баллон должен иметь документ, подтверждающий его сертификатные данные и маркировку на баллоне. В случае обнаружения в баллоне, при пробе на пятно, некачественного защитного газа, производится его отбраковка. Остаточное давление в использованном баллоне должно быть не менее 0,5 МПа (5атм) [8].

Сварочные материалы для выполнения сварных соединений показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Сварочные материалы для выполнения сварных соединений

Марка сплава	Способ сварки	Марка применяемого сварочного материала
Н95Г (ЭП-18) ТУ 14-1-3112 [3] между собой	Ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом с присадочным металлом	Сварочная проволока НМцАТ 3-1,5-0,6 ТУ 48-21-284 [5]; аргон высшего сорта ГОСТ 10157 [6]; неплавящийся электрод ЭВЛ ГОСТ 23949 [9]

В качестве неплавящегося электрода при ручной аргонодуговой сварке допускается применять электроды диаметром 2 и 3 мм следующих марок:

- прутки вольфрама марки ЭВЛ по ГОСТ 23949 [9];
- прутки вольфрама марки СВИ-1 по ТУ 48-42-73-7 [10];
- прутки вольфрама марки ЭВЛ по ТУ 48-19-27 [11].

Использование сварочных материалов, не прошедших входной контроль, а также материалов, не имеющих сертификатов или протоколов соответствия, не допускается.

Вывод: При использовании сварочной проволоки с раскислителями и нитридообразующими элементами, удалось успешно сварить никелевый сплав Н95Г без появления пор и трещин.

Эти добавки способствуют улучшению сварочных свойств металла, предотвращая образование дефектов и повышая прочность шва. Эксперименты показали, что такой подход к сварке никелевых сплавов приводит к получению качественной наплавки с высокими механическими и коррозионными характеристиками.

Важно отметить, что при сварке слоистых конструкций необходимо тщательно контролировать содержание газов в металле. Оптимальное сочетание процессов дополнения и удаления газов позволяет избежать негативных последствий влияния кислорода и водорода на свойства металла.

Таким образом, правильный выбор сварочных материалов и технологий играет ключевую роль в обеспечении качественной сварки никелевых сплавов. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что успешная сварка никелевых сплавов требует комплексного подхода, включающего не только правильный выбор сварочных материалов, но и контроль за процессами, происходящими в металле во время сварки.

Только таким образом можно обеспечить получение высококачественных сварных соединений, удовлетворяющих всем требованиям эксплуатации.

Сварочная проволока НМцАТ-3-1,5-06 гораздо лучше по своим характеристикам, чем сварочная проволока ДКРНТ 3,0 БТ НП-2, так как она в своем составе имеет титан, который предотвращает образование пор и трещин, чего нет в сварочной проволоке ДКРНТ 3,0 БТ НП-2.

2.3 Инверторный аппарат аргонодуговой сварки TIG КЕМРРІ

Для выполнения наплавки следует применять полностью исправные, укомплектованные и налаженные специализированные источники питания с устройствами, обеспечивающими возбуждение дуги и устройствами для плавного гашения дуги [4].

Аргонодуговую наплавку вольфрамовым электродом выполняют на постоянном токе прямой полярности с применением инертного газа (аргона

высшего или первого сорта), и газовых сопел специальной конструкции (сопло с разбрызгивающей сеточкой), как при сварке титана и др.

Источником питания для наплавки служил инверторный аппарат аргодуговой сварки TIG KEMPPИ (рисунок 18).



Рисунок 18 – Инверторный аппарат аргодуговой сварки TIG KEMPPИ

Инверторный аппарат аргодуговой сварки TIG KEMPPИ, работающий в двух режимах, обеспечивает уникальную возможность выполнения различных сварочных операций. Технические характеристики инверторного аппарата TIG KEMPPИ MinarcTig 250 показаны в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики MinarcTig 250

Дополнительный вид сварки	ММА
1	2
Сварка переменным током	Есть
Импульсная сварка	Высокочастотный
Тип поджига	5 А
Минимальный ток	250 А
Максимальный ток	3 x 400
Напряжение питания	-20% +15%
Потребляемая мощность	7,2 кВА
Напряжение холостого хода: до(max)	95 В
Минимальное рабочее напряжение	10,2 В
Максимальное рабочее напряжение	20,1 В
ПВ на макс. токе	30 %
Ампераж при ПВ100%	160 А
Габариты: ширина	0,92
Габариты: длина	0,8
Габариты: высота	180 мм
Масса	400 мм
Температура рабочей среды	340 мм

Продолжение таблицы 5

Дополнительный вид сварки	ММА
1	2
Диапазон сварочных токов и напряжений ММА	10 А/20,4 В-220 А/28,8 В
Напряжение холостого хода ММА	95 В
Потребляемая мощность холостого хода ММА	40 Вт
Коэффициент мощности при макс.токе ММА	0,91
КПД при макс. токе ММА	0,86
Класс электромагнитной совместимости	10 кВ
Минимальная мощность распределительной сети при коротком замыкании	1,5-5,0 мм
Диапазон температуры хранения	F
Рекомендуемый генератор	A

На панели MinarcTig MLP расположены индикаторы режима ожидания, перегрева, подачи газа до/после сварки, возрастания/уменьшения тока, режима функции Minilog (переключение между двумя уровнями силы сварочного тока в процессе сварки), значения основного и импульсного тока. Дисплей отображает величину сварочного тока и значение параметров в единицах времени и амперах.

Технология аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа (TIG) используется для задач, требующих высокой точности, а технология ручной дуговой сварки (ММА) дает возможность эффективной сварки толстых соединений, требующих повышенной надежности. MinarcTig™ 250, значительно расширяет диапазон применения, а именно, дает возможность сварки толстых и тонких листов, сплавов и нелегированных металлов в помещении и на улице.

На рисунке 19 показана панель управления MinarcTig MLP.



Рисунок 19 – Панель управления MinarcTig MLP

Аппарат подходит для таких работ, как подварка корня шва и заполнение разделки, требующих высокой точности, надежности и производительности. Инверторный аппарат аргодуговой сварки TIG KEMPPi отличается высокой производительностью и удобством эксплуатации, что гарантирует высокую эффективность сварки. Инверторный аппарат аргодуговой сварки TIG KEMPPi идеален для использования в монтажных, ремонтных во многих отраслях промышленности.

Инверторный аппарат аргодуговой сварки TIG KEMPPi можно подключать к электросети при помощи длинного сетевого кабеля или к генератору, что удобно при проведении монтажных работ на открытых площадках, сварке труб, проведении строительных работ.

Удобный и легкий в использовании;

Качественная сварка;

Портативный;

Прочный;

Совместим с генератором;

Импульс поджига дуги и функция защиты от «прилипания» для режима MMA;

Удобная ручка для переноски и отсек для хранения свернутого сварочного кабеля;

Совместимость со всеми дополнительными пультами дистанционного управления Kemppi.

2.4 Горизонтально – расточной станок M2620

Горизонтально-расточной станок, как правило, используется для обработки деталей, требующих точности и высокой производительности. Этот тип станка обеспечивает высокую точность и повторяемость обработки, что особенно важно при изготовлении корпусных деталей, где сборка требует высокой точности соединения отверстий. Конструкция станка обеспечивает устойчивость и жесткость при обработке деталей весом до 2000 кг.

Это позволяет обрабатывать крупные и тяжелые детали без потери точности и качества обработки. При равномерно распределенной нагрузке на стол станка, он способен обеспечить стабильное положение детали во время процесса обработки.

Использование горизонтально-расточного станка позволяет значительно увеличить производительность производства, так как он обладает высокой скоростью обработки и возможностью одновременной обработки нескольких отверстий в детали. Это позволяет сократить время обработки и повысить качество изготавливаемой продукции. В целом, горизонтально-расточный станок является незаменимым оборудованием для производства корпусных деталей, где требуется высокая точность и производительность. Его использование позволяет повысить эффективность производства и обеспечить высокое качество изготавливаемой продукции.

На рисунке 20 показан внешний вид горизонтально – расточного станка М2620



Рисунок 20 – Внешний вид горизонтально – расточного станка М2620

Станки предназначены для обработки металлических и неметаллических материалов с использованием различных видов режущих инструментов.

Сверление – это операция по созданию отверстий в заготовке с помощью сверла или центровки.

Растачивание используется для наиболее точной обработки отверстий под конкретный размер или форму.

Зенкерование позволяет создавать себя под седло отверстия, которые требуют различных поверхностей для установки элементов.

Развертывание отверстий – это операция по приданию им нужной формы и размера с помощью специального инструмента, называемого разверткой.

Обтачивание торцов радиальным суппортом помогает получить плоские и параллельные поверхности на торцах детали.

Фрезерование торцовыми фрезами позволяет создавать пазы и желобки на поверхности детали.

Нарезание внутренней резьбы расточным шпинделем и нарезание резьбы радиальным суппортом при продольном движении стола – это процессы, которые позволяют создавать резьбовые соединения.

Станки являются важным оборудованием в производстве, поскольку позволяют выполнять множество различных операций, обеспечивая точность и качество обработки деталей.

Важно правильно подбирать режущие инструменты и настраивать станок для каждой конкретной операции, чтобы обеспечить оптимальные результаты. Кроме того, необходимо следить за состоянием станка и проводить его регулярное техническое обслуживание, чтобы избежать поломок и сбоев в работе.

Впервые в 1957 году были выпущены станки моделей 2620 и 2622 которые имели усовершенствованный конструктив, в сравнении с моделью 262Г.

Горизонтально – расточной станок М2620 обладает рядом преимуществ:

- высокая точность станка за счет увеличенной станины, поперечному сечению передней колонны, саней, стола, ширины диаметру шпинделя, использованию более точных подшипников;

- для увеличения точности и жесткости в станке есть механизмы зажима стола и люнета;

- увеличенная виброустойчивость расточного станка;

- повышенная мощность головного электродвигателя до 10 кВт и увеличена скорость вращения шпинделя;
- бесступенчатая перемена величин подач;
- для быстрого поворота стола внедрен отдельный электродвигатель;
- дополнительная защита станка M2620 механическими и электрическими блокираторами от произвольных включений;
- предусмотрено автоматическое выключение подач при крайних положениях стола и шпиндельной бабки.
- введено более современное управление станком и высокий уровень механизации.

Станок модели M2620 представляет собой мощную и универсальную технику, способную выполнять широкий спектр операций по обработке металлических деталей.

Благодаря радиальному суппорту и выдвижному шпинделю диаметром 90 мм, он обеспечивает высокую точность и производительность при работе с различными материалами. Этот станок идеально подходит для выполнения работ по обтачиванию торцовых поверхностей и растачиванию отверстий больших диаметров.

Благодаря удобной планшайбе и возможности использовать радиальный суппорт, станок позволяет обрабатывать детали с высокой точностью и качеством.

Благодаря своей универсальности и широким возможностям, станок модели M2620 позволяет выполнять разнообразные операции, такие как фрезерование, растачивание, сверление и нарезание резьбы с высокой эффективностью и точностью.

Это делает его незаменимым инструментом для многих производственных отраслей, где требуется высокая точность и качество обработки деталей. В итоге, станок модели M2620 с радиальным суппортом и выдвижным шпинделем диаметром 90 мм является надежным и универсальным оборудованием, способным обеспечить высокую производительность и качество обработки деталей в различных отраслях промышленности.

Оптические экраны на станках модели M2620 также обеспечивают возможность автоматической коррекции погрешностей и управления процессом

обработки. Это упрощает работу оператора и минимизирует возможность ошибок в процессе производства.

Благодаря автоматизации и высокой точности обработки, станки данной модели могут быть успешно использованы в широком спектре отраслей промышленности, где требуется высокая степень точности и качества изготовления.

Станки M2620 с оптическими экранами позволяют добиться высокой скорости обработки при сохранении высокой точности и качества изготавливаемых деталей. Это делает такие станки идеальным выбором для предприятий, где важны как высокая производительность, так и высокие стандарты качества продукции.

Такое оборудование позволяет сократить издержки и повысить конкурентоспособность предприятия на рынке.

Таким образом, использование станков данной модели с оптическими экранами может значительно повысить эффективность производства и обеспечить высокое качество выпускаемой продукции.

На рисунке 21 показано уплотнительное кольцо закрепленное на горизонтально - расточном станке M2620.



Рисунок 21 – Уплотнительное кольцо на станке M2620

Уплотнительное никелевое кольцо корпусного кипящего реактора ВК-50 закреплено болтовым соединением на вращающейся оснастке по низу и приспособлениями на наружной части изделия. Во избежание коробления во время восстановительной наплавки все болты затянуты динамометрическим ключом с одинаковым усилием. На пульте управления настраивается скорость вращения стола.

Стол

Поворотный встроенный стол станка расположен на верхних санях, имеющих поперечное перемещение по нижним саням. По направляющим станины продольно перемещаются нижние сани.

Внутри полости нижних саней расположены механизмы поперечного перемещения верхних саней и поворота стола вокруг цапфы.

Привод продольного и поперечного перемещения стола осуществляется от электродвигателя постоянного тока через систему зубчатых колес и винтовые пары. Привод быстрого установочного поворота стола осуществляется от отдельного электродвигателя переменного тока, установленного на нижних санях.

Смазка направляющих и механизмов нижних саней производится от плунжерного насоса, закрепленного на боковой стенке нижних саней.

Плунжерный насос работает от руки.

В насосе имеется распределительный кран для подачи масла в закрытую систему смазки направляющих или в открытую систему смазки механизмов.

Смазка направляющих поворотного стола, верхних саней и механизма редуктора поворота производится от аналогичного плунжерного насоса, закрепленного на боковой стенке верхних саней.

Отсчет угла поворота стола производится по круговой шкале с ценой деления $0,5^\circ$, нанесенной на нижней части поворотного стола.

Отсчет угла поворота стола через каждые 90° осуществляется с помощью встроенного индикаторного устройства с ценой деления индикатора $0,01$ мм [21].

3 Восстановительная наплавка уплотнительного кольца

3.1 Подготовка под наплавку внутренней поверхности уплотнительного кольца

Обеспечение чистоты свариваемого металла и сварочной проволоки (присадки) является важным условием получения качественной наплавки на никеле и его сплавах.

Зачистить поверхность А (в соответствии с рисунком 22) под наплавку механическим способом борфрезой по ГОСТ 34202-2017 [17] до металлического блеска.

Обезжирить поверхность изделия, под наплавку уайт-спиритом или спиртом этиловым ректифицированным по ГОСТ 5962-2013 [18].

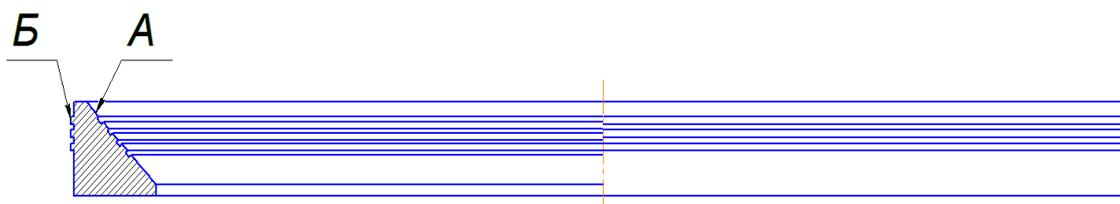


Рисунок 22 – Поверхности для наплавки уплотнительного кольца

3.2 Наплавка внутренней поверхности уплотнительного кольца

Наплавка должна выполняться в условиях, обеспечивающих защиту места сварки от любых воздействий, отрицательно влияющих на качество сварных соединений (запылённость, высокая влажность, атмосферные осадки, особенно с частицами графита, загрязненность, особенно нефтепродуктами, сквозняки и т.д.).

Наплавку выполняют при температуре окружающего воздуха не ниже минус 5°С в цеховых условиях.

При минимально возможной длине дуги и повышенной силе тока производится наплавка никеля. При аргонодуговой наплавке никеля применяют «левый» способ при максимально возможной скорости процесса с минимальными

поперечными колебаниями электрода. Вылет вольфрамового электрода 12-15мм, угол наклона горелки к оси шва не более 60°.

Присадочную проволоку следует подавать под углом 20-30° к оси шва. При многопроходной наплавке последующие швы накладывают после зачистки от шлака и обезжиривания предыдущих слоев и полного охлаждения.

Швы выполненные в среде инертного газа (аргона), характеризуются высокой прочностью при хороших пластичности и вязкости [2].

До зажигания дуги при сварке подводящие шланги и горелка продуваются аргоном. При сварке длина дуги должна быть от 2,0 до 2,5 мм.

Зажигание дуги и разогрев электрода производить на стальной, медной или графитовой пластинке, устанавливаемой рядом с наплавленной поверхностью.

Места случайного замыкания вольфрамового электрода о поверхность сварного шва или основного металла должны в обязательном порядке зачищаться абразивным инструментом.

После выполнения каждого слоя шва при выполнении многослойных швов деталей необходима хорошая очистка поверхности промежуточных слоев, наплавку прекращают до остывания свариваемых кромок до температуры не более 100°С.

При обрыве дуги к наплавке вновь приступают после механической обработки (удаления) кратера, отступив в сторону ранее выполненной части шва от 5 до 15 мм. Для повышения стабильности и улучшения условий возбуждения дуги и рекомендуется:

- затачивать конец вольфрамового электрода на конус длиной, равной от 3 до 5 диаметрам электрода, кончик притупить $0,2 \dots 0,5 d_{эл}$.
- разогревать электрод на графитовой или стальной пластине, непосредственно перед сваркой.

Длина вольфрамового электрода, выступающего из сопла, не должна превышать 5 мм.

В цеховой атмосфере при длительном хранении никеля и медно-никелевых сплавов на них образуется налет, содержащий серу. Требуется обязательная механическая зачистка перед сваркой так как этот налет не снимается при

обезжиривании. Как правило, перед наплавкой химическое травление кромок на никеле и его сплавах не требуется.

Аргонодуговая сварка никеля и его сплавов производится на постоянном токе прямой полярности (минус на электроде). Питание сварочной дуги осуществляется от инверторного аппарата (типа TIG KEMPP1).

Горизонтальными валиками снизу-вверх проводить наплавку. Восстановления дефектных сопряжений и деталей состоит в возврате утраченных свойств:

- свойств материала и внешнего вида детали;
- использование аргона марки «А» ГОСТ 10157-79 [19];
- посадки, формы, относительного положения в пространстве поверхностей.

Сварочная проволока Ø 3,0 мм марки НМЦАТ-3-1,5-06 ТУ 48-21-284-73 [5].

Инверторный аппарат аргонодуговой сварки TIG KEMPP1 выступает источником питания.

Горизонтально-расточной станок М2620В выступает в роли вращателя.

Установить параметры режима наплавки:

- сила тока $I=180...220$ А
- расход аргона $Q = 8... 10$ л/мин;
- вылет электрода $L_э = 10... 12$ мм;
- линейная скорость вращения стола $V_c = 0,28...0,3$ м/мин;
- продувка аргоном до сварки $t_1 = 5$ с;
- продувка аргоном после сварки $t_2 = 2$ с.

Наплавку внутренней поверхности А выполнять в следующей последовательности:

1. Необходимо заплавить внутренние канавки кольца путём наложения горизонтальных валиков в шахматном порядке по всему диаметру кольца участками по 90-120см для уменьшения деформации, образуя при этом на уровне с внутренними поясками кольца сплошную наплавленную поверхность. Наплавку первого слоя рекомендуется выполнять за один проход непрерывно, обеспечивая отсутствие перегрева околошовной зоны и образования трещин. При наплавке каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий слой не менее, чем

на 1/3 его ширины. Каждый последующий слой шва начинают сваривать после остывания сварного шва до 100°С и тщательной очистки предыдущего слоя от шлака, брызг и обезжиривания;

2. После образования наплавленной поверхности (см. п. 1 примечаний) осуществить наплавку всей поверхности А до требуемых значений по величине геометрических размеров кольца согласно КД с припуском под механическую обработку.

3. Наплавку выполнять горизонтальными валиками снизу вверх (и сверху вниз), идущими навстречу друг другу в шахматном порядке, по всему диаметру кольца участками по 90-120 см до середины поверхности А. Таким образом, произойдет взаимное уравнивание остаточных напряжений в наплавленном металле, и не вызовет деформацию кольца. Толщина наплавленного металла не должна превышать 1,5-2 мм за один проход. Высота наплавленных слоев должна быть не менее 5-7 мм.

3.3 Токарная обработка внутренней поверхности уплотнительного кольца

Согласно конструкторской документации и рисунка 23.



Рисунок 23 – Наплавленная внутренняя поверхность после токарной обработки

Токарную обработку выполняют при помощи горизонтально – расточного станка М2620 наплавленной стороны до исходных размеров.

3.4 Контроль после наплавки внутренней поверхности уплотнительного кольца

Контроль качества сварных соединений из никеля отражаются на особенности сварки никеля в сравнении со сваркой конструкционных сталей, специфических свойства никеля как конструкционного материала.

Сварные конструкции из никеля должны иметь высокую коррозионную стойкость и высокие механические свойства. Организация контроля качества в условиях производства подчинена главным требованиям.

«Система контроля должна включать в себя следующие элементы:

- 1) Контроль за соблюдением технических условий на основной металл и сварочные материалы;
- 2) Контроль за соответствием квалификации сварщика сложности выполняемой работы;
- 3) Контроль за соблюдением технологического процесса заготовки, сборки и сварки изделия;
- 4) Проверку качества готовой продукции.» [1]

«При проверке никелевых сварных конструкций ответственного назначения обычно производят следующие испытания:

- 1) Выявление внешних дефектов швов (подрезов, наружных пор, крупных трещин, нарушения геометрических размеров швов, путем осмотра конструкций;
- 2) Определение внутренних дефектов (непроваров, пор, шлаковых включений) рентгенографированием;
- 3) Определение показателей механических свойств (предела прочности, относительного удлинения, угла загиба);
- 4) Выявление скрытых мелких трещин путем травления вырезанных из шва образцов или методом засверловки и травления шва;
- 5) Определение коррозионной стойкости сварных соединений» [1].

При хорошей освещенности и в удобном положении производится внешний осмотр швов. Провести визуальный и измерительный контроль наплавленной поверхности уплотнительного кольца согласно требованиям НП-105-18 [16] в объеме 100% на соответствие требованиям конструкторской документации. Использовали штангенциркуль ШЦ-1-160-0,1 ГОСТ 166-89 [20], погрешность

измерения 0,1 мм, бинокулярную лупу ГОСТ Р 50909-96 [21], увеличение не менее 2х крат, рулетка измерительная класс точности 2 ГОСТ 7502-98 [22], угломер 1-5, погрешность измерения 5' ГОСТ 5378-88 [23] в качестве вспомогательного инструмента.

Примечание – при обнаружении дефектов необходимо осуществить их устранение, после чего повторить контроль.

Провести капиллярный контроль обработанной поверхности по ГОСТ Р 50.05.09-2018 [15], класс чувствительности II, в объеме 100%.

3.5 Подготовка под наплавку наружной поверхности уплотнительного кольца

Зачистить поверхность Б (в соответствии с рисунком 23) под наплавку механическим способом борфрезой по ГОСТ 34202-2017 [17] до металлического блеска.

Обезжирить поверхность изделия, под наплавку уайт-спиритом или спиртом этиловым ректифицированным по ГОСТ 5962-2013 [18].

3.6 Наплавка наружной поверхности уплотнительного кольца

Аргонодуговая сварка никеля и его сплавов производится на постоянном токе прямой полярности (минус на электроде). Питание сварочной дуги осуществляется от инверторного аппарата (типа TIG KEMPP1).

Горизонтальными валиками снизу-вверх проводить наплавку. Восстановления дефектных сопряжений и деталей состоит в возврате утраченных свойств:

- свойств материала и внешнего вида детали;
- использование аргона марки «А» ГОСТ 10157-79 [19];
- посадки, формы, относительного положения в пространстве поверхностей.

Сварочная проволока Ø 3,0 мм марки НМцАТ-3-1,5-06 ТУ 48-21-284-73 [5].

Инверторный аппарат аргонодуговой сварки TIG KEMPP1 выступает источником питания.

Горизонтально-расточной станок М2620 выступает в роли вращателя.

Установить параметры режима наплавки:

- сила тока $I=180...220$ А
- расход аргона $Q = 8... 10$ л/мин;
- вылет электрода $L_э = 10... 12$ мм;
- линейная скорость вращения стола $V_c = 0,28...0,3$ м/мин;
- продувка аргоном до сварки $t_1 = 5$ с;
- продувка аргоном после сварки $t_2 = 2$ с.

Наплавку внешней поверхности Б выполнять в следующей последовательности:

1. Вначале необходимо заплавить внешние канавки кольца путём наложения горизонтальных валиков в шахматном порядке по всему диаметру кольца участками по 90-120см для уменьшения деформации, образуя при этом на уровне с внешними поясками кольца сплошную наплавленную поверхность. Наплавку первого слоя рекомендуется выполнять за один проход непрерывно, обеспечивая отсутствие перегрева околошовной зоны и образования трещин. При наплавке каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий слой не менее, чем на 1/3 его ширины. Каждый последующий слой шва начинают сваривать после остывания сварного шва до 100°C и тщательной очистки предыдущего слоя от шлака, брызг и обезжиривания;

4 После образования наплавленной поверхности осуществить наплавку всей поверхности Б до требуемых значений по величине геометрических размеров кольца согласно КД с припуском под механическую обработку;

5 Наплавку выполнять горизонтальными валиками снизу вверх в шахматном порядке, по всему диаметру кольца участками по 90-120 см на поверхности Б. Таким образом, произойдёт взаимное уравнивание остаточных напряжений в наплавленном металле, и не вызовет деформацию кольца. Толщина наплавленного металла не должна превышать 1,5-2 мм за один проход. Высота наплавленных слоев должна быть не менее 50-70 мм.

Примечание:

1.После наложения каждого слоя, наплавленную поверхность сварных швов зачистить от брызг металла, а также удалить цвета побежалости. В процессе сварки контролировать

очередность выполнения сварных швов, температуру металла в зоне сварки (можно использовать любые датчики температуры, работающие в данном температурном диапазоне (термопары и др.)).

2. После выполнения сварного шва контролировать поверхность шва на отсутствие поверхностных дефектов (пор, трещин, несплавлений и др.).

3.7 Токарная обработка наружной поверхности уплотнительного кольца

Согласно конструкторской документации (КД) и рисунка 24.



Рисунок 24 – Наплавленная внешняя поверхность после токарной обработки

При помощи горизонтально – расточного станка М2620 выполнить токарную обработку наплавленной стороны до исходных размеров.

3.8 Контроль после наплавки наружной поверхности уплотнительного кольца

Контроль качества сварных соединений включает:

- аттестацию контролеров;
- контроль сборочно-сварочного оборудования, аппаратуры и приспособлений;
- входной контроль основных материалов;

- контроль качества сварочных материалов;
- операционный контроль;
- приемочный контроль.

Контроль осуществляется в следующей последовательности:

- визуальный;
- измерительный;
- капиллярный.

При хорошей освещенности и в удобном положении производится внешний осмотр швов.

Провести визуальный и измерительный контроль наплавленной поверхности уплотнительного кольца согласно требованиям НП-105-18 [16] в объеме 100% на соответствие требованиям конструкторской документации.

Использовать штангенциркуль ШЦ-1-160-0,1 ГОСТ 166-89 [20], погрешность измерения 0,1 мм, бинокулярную лупу ГОСТ Р 50909-96 [21], увеличение не менее 2х крат, рулетка измерительная класс точности 2 ГОСТ 7502-98 [22], угломер 1-5, погрешность измерения 5' ГОСТ 5378-88 [23] в качестве вспомогательного инструмента.

Примечание – при обнаружении дефектов необходимо осуществить их устранение, после чего повторить контроль.

Провести капиллярный контроль обработанной поверхности по ГОСТ Р 50.05.09-2018 [15], класс чувствительности II, в объеме 100%.

Произвести измерения геометрических размеров всего уплотнительного никелевого кольца согласно требованиям НП-105-18 [16] и конструкторской документации (внешний угол $2^{\circ}_{-10'}$, внутренний угол $46^{\circ}30'^{+20'}$, наружный диаметр $\varnothing 3353_{-1}$, внутренний диаметр $\varnothing 3222^{+1}$, высота кольца $75_{-0,5}$).

Провести капиллярный контроль обработанной поверхности по ГОСТ Р 50.05.09-2018 [15], класс чувствительности II, в объеме 100%.

Примечание – при обнаружении дефектов в виде пор, несплавлений, трещин необходимо осуществить их устранение, после чего повторить контроль.

Для обеспечения стабильного получения высококачественных сварных соединений из никеля требуется более высокая степень культуры производства,

особенно при сравнении с производством конструкций из малоуглеродистых сталей.

Никель является более требовательным материалом для сварки, и необходимо соблюдать определенные режимы сварки и контрольные процедуры.

Вот некоторые особенности, которые следует учитывать при сварке никеля для обеспечения качественных сварных соединений:

Выбор правильного метода сварки: для никеля рекомендуется использовать методы TIG (Tungsten Inert Gas) или MIG (Metal Inert Gas) с подходящими газами защиты для минимизации окисления и других дефектов.

Контроль температуры и скорости нагрева: никель чувствителен к термообработке, поэтому важно контролировать температуру и скорость нагрева во время сварки. Это поможет избежать образования внутренних напряжений и дефектов.

Предварительная подготовка поверхностей: перед сваркой поверхности никелевых деталей должны быть тщательно очищены от загрязнений, окислов и других примесей для обеспечения надлежащего сцепления металлов и предотвращения дефектов.

Вывод: Контроль качества сварных соединений из никеля играет ключевую роль в обеспечении надежности и безопасности конструкций. Особенности никеля как материала требуют более тщательного и комплексного подхода к контролю качества. Внедрение различных методов контроля, таких как визуальный, радиографический и ультразвуковой, поможет обнаружить и устранить дефекты сварных соединений, обеспечивая высокую надежность и долговечность конструкций из никеля.

4 Исправление дефектов уплотнительного кольца

Сварка и сварочные технологии играют важную роль в металлообработке и производстве изделий. Развитие новых методов и оборудования для сварки позволяет повысить качество соединений и обеспечить надежность конструкций. Однако важно помнить, что разные металлы имеют различные свойства и особенности, которые могут влиять на процесс сварки.

Никель, как и многие другие металлы, имеет свои особенности при сварке. Образование горячих трещин и пор при сварке никеля действительно является одной из распространенных проблем. Это связано с высокой подвижностью атомов в металлической решетке никеля, что может привести к образованию дефектов в сварном шве.

Для предотвращения образования горячих трещин и пор при сварке никеля часто применяют специальные методы и технологии, такие как контроль температуры сварочного процесса, использование специальных сварочных электродов, предварительный подогрев материала и другие техники.

Важно правильно подходить к выбору метода сварки и оборудования, учитывая особенности материала, чтобы обеспечить высокое качество сварных соединений и избежать появления дефектов.

«Трещины являются одним из наиболее опасных и недопустимых дефектов в сварных швах, так как они могут развиваться в процессе эксплуатации конструкции даже при весьма низких средних рабочих напряжениях.

Концы трещин представляют собой самые сильные концентраторы напряжений, в результате чего металл в микроразделах, прилегающих к концам трещины, всегда испытывает огромные напряжения объемного характера» [1].

«По своему характеру трещины, возникающие в сварных соединениях из никеля, можно разделить на две группы:

а) трещины, образующиеся в процессе работы сварного соединения, - эксплуатационные;

б) трещины, появляющиеся еще при изготовлении конструкции, например при сварке, термообработке, ковке, прокатке и т.д., - технологические.

Эксплуатационные трещины в конструкциях из никеля возникают редко, вследствие того, что никель и многие из сплавов на его основе имеют высокие

пластические свойства и поэтому мало чувствительны к надрезам, трещинам и другим концентраторам напряжений. Никелевые конструкции хорошо переносят вибрационные, ударные и взрывные нагрузки, что является одной из причин широкого использования никеля и его сплавов в технике.

Технологические трещины наблюдаются при использовании несовершенных методов сварки никеля и при нарушении технологического процесса сварки в сварных соединениях» [1].

«Одними из основных причин пористости сварных швов и соединений из никеля являются:

а) насыщение расплавленного металла сварочной ванны водородом, кислородом, азотом, окисью углерода и другими газами;

б) резкое снижение растворимости газов при переходе металла ванны из жидкого состояния в твердое» [2].

процесс образования пор в наплавленном слое может быть довольно сложным и зависит от многих факторов, включая температуру, химический состав металла и газовую среду. При сварке, капли металла и жидкая фаза ванн контактируют с газовой фазой, что приводит к насыщению металла газами. В условиях высокой температуры и давления газы могут интенсивно растворяться в металле.

Когда сварочная ванна кристаллизуется и происходит переход из жидкого состояния в твердое, растворимость газов в металле может измениться, что может привести к образованию пор в структуре наплавленного слоя. Для никеля характерны скачкообразные изменения растворимости газов при кристаллизации, что также может влиять на образование пор.

Этот процесс демонстрирует важность контроля параметров сварки и оптимизации условий процесса для предотвращения образования дефектов, таких как поры и трещины.

Понимание химических и физических процессов, происходящих во время сварки, позволяет разрабатывать более эффективные методы и технологии сварки для обеспечения качественных сварных соединений.

«Избыток растворенных газов начинает бурно выделяться из жидкого металла и коагулировать в мелкие, а затем и в более крупных пузырьки. Пузырьки

выделившихся газов стремятся всплыть на поверхность жидкой ванны. Крупные пузырьки газа всплывают быстрее, чем мелкие, вследствие того, что на них действуют большие силы выталкивания.

Максимальное время, в течении которого всплывают выделившиеся газы очевидно, будет равно времени существования жидкой ванны и зависеть от параметров режима сварки. Так как обычно время существования жидкой ванны мало, то газовые пузыри не успевают всплыть на поверхность жидкого металла и образуют при затвердении шва поры» [2].

Исправлению подлежат все дефекты (недопустимые отклонения), выявленные в сварных соединениях при их неразрушающем контроле.

При удалении дефектных мест в металле сварных соединений должны обеспечиваться следующие требования:

– поверхности выборки дефектных мест должны иметь плавный переход к основному металлу свариваемых деталей и к выполненному сварному шву;

Под исправляемым участком сварного соединения следует понимать прямоугольник наименьшей площади, в контур которого вписывается подлежащая заварке выборка, и примыкающие к нему поверхности на расстоянии, равном трехкратной ширине указанного прямоугольника согласно НП-104-18 [4].

Схема определения размеров исправляемого участка представлена на рисунке 25.

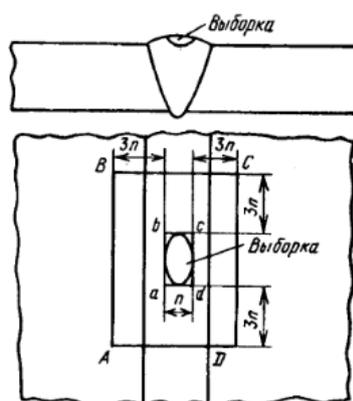


Рисунок 25 – Схема определения размеров исправляемого участка

n – ширина прямоугольника;

АВСД – исправляемый участок

abcd – прямоугольник наименьшей площади,
в контур которого вписывается выборка

Исправление дефектов должно производиться ручной аргонодуговой сваркой вольфрамовым электродом, теми же сварочными материалами, которыми проводилась сварка. При исправлении дефектов в процессе выполнения сварных соединений и наплавов следует соблюдать следующие положения:

- при обнаружении трещин сварка (наплавка) должна быть прекращена и может быть возобновлена только после удаления трещин и принятия мер, предотвращающих их повторное появление;

- число исправлений корневой части шва на одном и том же участке не должно превышать трех;

- число исправлений (кроме исправлений корневой части шва) при глубине выборок в пределах номинальной толщины двух слоев шва не ограничивается и не учитывается;

- число исправлений на глубине выборок, превышающей номинальную толщину двух слоев шва, на одном и том же участке шва не должно превышать трех.

Все имеющиеся дефекты необходимо удалить механическим способом борфрезой по ГОСТ 34202-2017 [17] до металлического блеска.

Обезжирить поверхность изделия, под наплавку уайт-спиритом или спиртом этиловым ректифицированным по ГОСТ 5962-2013 [18].

Ремонт дефектных участков выполнять горизонтальными валиками снизу вверх в шахматном порядке. Таким образом, произойдет взаимное уравнивание остаточных напряжений в наплавленном металле, и не вызовет деформацию кольца.

Для выполнения токарной обработки на горизонтально-расточном станке М2620 наплавленной стороны до исходных размеров, выполнить:

- закрепить деталь на столе станка и установить необходимые инструменты для токарной обработки;

- убедиться, что инструменты настроены правильно и обеспечивают необходимые размеры обработки;

- установить правильные параметры скорости резания, подачи и глубины резания в соответствии с материалом детали и требованиями чертежа;

- запустить станок и начать токарную обработку, уделяя внимание качеству и точности обработки;
- после завершения обработки, проверить размеры детали с помощью измерительных инструментов, чтобы убедиться, что они соответствуют исходным размерам.

Не забывать следить за процессом обработки и проводить необходимые корректировки для обеспечения качественного исполнения работ.

Заключение

В результате проведенных исследований была разработана и внедрена на предприятии АО «ГНЦ НИИАР» технология наплавки изношенного уплотнительного кольца крышки корпуса реактора ВК-50 изготовленного из никелевого сплава Н95Г. Разработанная технология восстановления эксплуатационных свойств изделия с помощью аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом позволяет увеличить производительность процесса и снизить затраты на эксплуатацию реактора. При этом качество наплавленного слоя соответствует всем требованиям, предъявляемым к эксплуатации реактора ВК-50.

«Наплавленный металл образует одно целое с основным металлом, связан с ним весьма прочно и надежно. Путем наплавки можно получить непосредственно на рабочей поверхности изделия сплав, обладающий желательным комплексом свойств, - износостойкий, кислотоупорный, жаростойкий и т.п. Вес наплавленного металла обычно не превышает нескольких процентов от веса изделия. При ремонте обычно восстанавливаются первоначальные размеры и свойства поверхности деталей» [23].

«Кроме того, наплавка позволяет создавать биметаллические изделия, у которых высокая прочность и низкая стоимость сочетаются с большой долговечностью в условиях эксплуатации. Многократное повторное восстановление изношенных деталей во много раз уменьшает расход металла для изготовления запасных частей оборудования» [23].

«Увеличение стойкости детали особенно важно, если от нее зависит работа высокопроизводительного агрегата, а ее замена связана с простоем. Этим обусловлена большая техническая и экономическая эффективность наплавки в металлургии, в горнодобывающей и нефтяной промышленности и во многих других отраслях народного хозяйства» [23].

Механическая обработка наплавленного слоя позволила получить габаритные размеры изделия, соответствующие размерам чертежа.

В заключение можно отметить, что задачи, поставленные в диссертационной работе выполнены, а заявленная цель достигнута.

Выводы

1. Разработана и внедрена технология наплавки уплотнительного кольца, которая повышает качество наплавки уплотнительного кольца, путем разработки технологии аргонодуговой наплавки с применением общего нагрева и оптимизации параметров режима наплавки, что влияет на эксплуатацию реактора ВК-50 и имеет большую практическую значимость.

2. Подбранное оборудование, а также режимы наплавки и наплавочные материалы для реализации технологии наплавки уплотнительного кольца крышки реактора позволяют обеспечить требуемое качество наплавленного слоя.

3. Механическая обработка наплавленного слоя уплотнительного кольца обеспечивает получение габаритных размеров и шероховатость контактной поверхности изделия в соответствии с размерами чертежа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Багрянский К.В., Кузьмин Г.С. Сварка никеля и его сплавов: М.,1963. – 160 с.
2. Гуревич С.М. Справочник по сварке цветных металлов.; Отв. ред. Замков В.Н. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1990. – 512 с. – ISBN 5-12-001377-5
3. ГОСТ 2179-15 Проволока из никеля и кремнистого никеля. Технические условия. – Введ.01.04.2016. – М., 2016. – 13с.
4. ГОСТ 23949-80 Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся. Технические условия. – Введен 01.01.1981. – М., 1981. – 10 с.
5. ГОСТ Р 50.05.08-2018 Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Визуальный и измерительный контроль. – Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28.12.2018 №1172 – ст. – Введ. 01.03.2018. – М. Стандартиформ 2018. – 46 с.
6. ГОСТ Р 50.05.09-2018 Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Капиллярный контроль. – Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28.12.2018 №1175 – ст. – Введ. 01.03.2018. – М. Стандартиформ 2018. – 28 с.
7. ГОСТ 34202-2017 Борфрезы твердосплавные. Технические условия. – Введ.01.01.2019. – М.,2020. – 10с.
8. ГОСТ 5962-2013 Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья. Технические условия. – Введ.01.07.2014. – М., 2014. – 5с.
9. ГОСТ 10157-2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия. – Введ. 01.07.2017. – М., 2019. – 20с.
10. ГОСТ 166-89 Штангенциркули. Технические условия. – Введ.01.01.1991г. – 10с.
11. ГОСТ Р 50909-96 Приборы визуальные наблюдательные. Требования безопасности и методы испытаний. – Введ. 01.07.1997. – 9с.
12. ГОСТ 7502-98 Рулетки измерительные металлические. Технические условия. Введ. 01.07.2000г. – 8с.

13. ГОСТ 5378-88 Угломеры с нониусом. Технические условия. – Введ.01.01.1990. – М., 2010. – 7с.

14. Ельцов В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин: электронное учебное пособие/ В.В.Ельцов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. – 16 – 158 с.

15. История росатома, [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-reactors/vk-50/#gallery> (дата обращения 12.05.2024)

16. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры: утверждено приказом от 30.01.2020 №145 с изменениями, утвержденными приказом от 17.06.2021 №1180: Изд-во ТГУ, 2021. – 39 с.

17. НП-104-18 Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 02.12.2005 от 14.11.2018г. №554. – Введ. 06.01.2019. – 260 с.

18. НП-044-18 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под избыточным давлением, для объектов использования атомной энергии. Утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 02.03.2018 №93 – 94 с.

19. НП-105-18 Правила контроля металла оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок при изготовлении и монтаже. Утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 14.11.2018г. № 553. Введ. 01.01.2019. – 116 с.

20. ОСТ 26.260.3-2001 Сварка в химическом машиностроении. Основные положения. Утв. Федеральный горный и промышленный надзор России 01.06.2002г. – 94 с.

21. Описание информационно-измерительной системы установки ВК50. [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfiles.net/preview/718064> (дата обращения: 01.12.2023).

22. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./ Ред – С 24 кол.: Г.А.Николаев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 – т.2/ Под ред. А.И.Акулова. 1978. 462 с., ил.

23. ТУ 14-1-3112-81 Прутки кованые из сплава Н95Г (ЭП 18) от 01.08.1981. – 8 с.
24. ТУ 48-21-284-73 Проволока сварочная марок НМЦАТ3-1,5-0,6; НМЦАТК-1-1,5-2,5-0,15; НММЦТА 26-1,5-1,1-0,5 (сварочный монель) 01.06.1973г. – 12 с.
25. ТУ 48-19-221-83 Прутки из иттрированного вольфрама марки СВИ-1. Технические условия. 14.11.1983г. – 33 с.
26. Технологические основы сварки плавлением. Электронное учебное пособие.: В.А. Щеклин, 2005.
27. Фрумин, И.И. Автоматическая электродуговая наплавка. / И.И. Фрумин. Харьков: Государственное научно-техническое издательство литературы черной и цветной металлургии, 1961. – 7 - 9 с.
28. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление/Пер. с яп.Х12 В.Н. Попова; Под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985. –240 с., ил.
29. Akesson, B. Exposure in welding of high nickel alloy / B. Åkesson, S. Skerfving. Int. Arch. occup. Environ. Health, 1985. – 19 с. 33. Becker, N. Cancer risk of arc welders exposed to fumes containing chromium and nickel / N. Becker, J. Claude, R. Frentzel-Beyme. Work Environ. Health, 1985. – 20 – 21 с.
30. Becker, N. Cancer risk of arc welders exposed to fumes containing chromium and nickel / N. Becker, J. Claude, R. Frentzel-Beyme. Work Environ. Health, 1985. – 20 – 21 с.
31. Grandjean, P. Nickel concentrations in plasma and urine of shipyard workers / P. Grandjean, I.J. Selikoff, S.K. Shen, F.W. Sunderman. Am. J. ind. Med. 1980. – 65 с. 90
32. Kalliomäki, P.-L. Lung-retained contaminants, urinary chromium and nickel among stainless steel welders / P.-L. Kalliomäki, E. Rahkonen, V. Vaaranen, K. Kalliomäki, K. Aittoniemi. Int. Arch. occup. Environ. Health. 1981. – 9 – 20 с.
33. Hicks, R. Pneumoconiosis effects of welding-fume particles from mild and stainless steel deposited in the lung of the rat / R. Hicks, H.F. Lam, K.J. AlShamma, P.J. Hewitt. Arch. Toxicol, 1984. – 12 – 14 с.

