РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КОНСТРУКЦИИ СВАРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

РТМ 108.940.08—85

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ указанием Министерства энергетического машиностроения от 23.04.85 № СЧ-002/3261

ИСПОЛНИТЕЛИ: **В. Н. ЗЕМЗИН** (доктор техн. наук, профессор), **В. И. РОЗЕМБЛЮМ** (доктор техн. наук), **Р. З. ШРОН** (доктор техн. наук), **А. Н. МИТЮКОВ, Л. К. ЗИМИНА, В. В. ЗУГРОВА**

© Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова (НПО ЦКТИ), 1987.

УДК 621.1.001.2 (083.75) Группа В05

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КОНСТРУКЦИИ СВАРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

РТМ 108.940.08—85

Взамен РТМ 24.940.08—74

Указанием Министерства энергетического машиностроения от 23.04.85 № СЧ-002/3261 срок введения установлен

с 01.07.86

Настоящий руководящий технический материал (РТМ) распространяется на паровые котлы и турбины, газовые турбины и теплообменное оборудование и устанавливает общие требования к конструктивно-технологическому проектированию их сварных конструкций.

РТМ рекомендуется для применения в организациях и на предприятиях Минэнергомаша, проектирующих и изготавливающих энергетическое оборудование.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. РТМ действует вместе с техническими условиями и нормативными документами на проектирование, изготовление и контроль сварных конструкций энергетического оборудования.

1.2. При конструктивно-технологическом проектировании должны учитываться:

условия работы конструкций;

материалы конструкций и способ получения заготовок;

вид и технология сварки;

типы сварных соединений и узлов с учетом требований удобства выполнения, качественного изготовления и обеспечения контроля;

пути достижения требуемой точности изделия;

возможность выполнения термической обработки;

Издание официальное Перепечатка воспрещена

требования к обеспечению оптимальных технико-экономических показателей.

1.3. Расчет и проектирование сварных конструкций энергетического оборудования (энергооборудования), а также оформление технической документации должны производиться в соответствии с действующими стандартами, правилами Госгортехнадзора СССР по устройству и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов, трубопроводов пара и горячей воды (правила ГГТН СССР) и нормами расчета на прочность (ОСТ 108.031.02—75) с учетом настоящего РТМ.

1.4. Выбор сварочных материалов и технологии сварки должен производиться согласно требованиям ГОСТ 24663—81, ОСТ 108.940.102—87, РТМ 108.940.03—83 и других нормативных документов с учетом рекомендаций настоящего РТМ.

1.5. Операции контроля должны выполняться в соответствии с Правилами ГГТН СССР, ОСТ 108.940.103—87 и другими нормативными документами, указанными в разделе 9.

2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

2.1. Общие требования к материалам

2.1.1. Выбор марок сталей для сварных конструкций энергооборудования должен производиться с учетом условий работы изделия в соответствии с правилами ГГТН СССР, ОСТ 108.940.102—87, стандартами и техническими условиями (ТУ) на энергооборудование и нормами расчета на прочность. Предпочтение должно быть отдано материалам с хорошей и удовлетворительной свариваемостью, при использовании которых:

не требуется подогрев при сварке, а в случае его необходимости температура подогрева является минимальной;

не требуется термическая обработка сварных конструкций по условиям прочности или стабильности размеров изделия;

обеспечивается максимальная однородность различных зон сварного соединения при отсутствии в нем разупрочненных и хрупких зон;

отсутствует склонность к образованию трещин при термической обработке и к локальным разрушениям при эксплуатации в зоне высоких температур.

2.1.2. Марки сталей, рекомендуемые для применения в энергетическом машиностроении при изготовлении типовых сварных конструкций, приведены в табл. 1; там же дана оценка их свариваемости, указаны требования к подогреву при сварке и к термической обработке.

2.1.3. Для сварных узлов, работающих в наиболее тяжелых условиях (по напряжениям и температурам) и изготавливаемых из сталей повышенной прочности и жаропрочности, необходимо применять материалы, полученные с использованием рафинирующих методов выплавки (табл. 2).

Таблица 1

Группа стали	Марка стали	Наименование полуфабриката	Область применения	Свариваемость	Требование к подогреву изделия
Углеродистая	ВСт3сп, ВСт3пс, 15К, 20К	Листовой прокат	Металлические конструкции котлов и турбин, корпуса сосудов, работающих под давлением, и цилиндров турбин	Хорошая	Подогрев при толщине стенки более 100 мм
	ВСт3Гпс			Удовлетворительная	Подогрев при толщине стенки более 30 мм
	22К				Подогрев при толщине стенки более 60 мм
	10, 20	Трубы, поковки	Поверхности нагрева котлов, камеры и трубопроводы, корпуса арматуры, ободы и тела диафрагм	Хорошая	Подогрев при толщине стенки более 100 мм
	25Л	Отливки	Корпуса арматуры и цилиндров турбин	Удовлетворительная	Подогрев при толщине стенки более 60 мм
Низколегированная конструкционная	16ГС, 09Г2С, 14Х2ГМР	Листовой прокат, поковки	Металлические конструкции котлов и турбин, корпуса сосудов, работающих под давлением, и цилиндров турбин и нагнетателей	Удовлетворительная	Подогрев при толщине стенки более 30 мм
	16ГНМА	Листовой прокат	Барабаны котлов	Ограниченная	Подогрев при толщине стенки более 10 мм
	15ГС	Трубы	Трубопроводы	Удовлетворительная	Подогрев при толщине стенки более 30 мм

Продолжение табл. 1

Группа стали	Марка стали	Наименование полуфабриката	Область применения	Свариваемость	Требование к подогреву изделия
Низколегированная конструкционная	25Х2НМФА, 20ХН2МФА, 20ХН3МФА	Поковки	Роторы турбин и компрессоров	Ограниченная	Подогрев при всех толщинах стенки
	20ГСЛ, 08ГДНФЛ	Отливки	Корпуса арматуры и цилиндров турбин и компрессоров	Удовлетворительная	Подогрев при толщине стенки более 30 мм
Теплоустойчивая	12ХМ, 12МХ, 15ХМ	Листовой прокат, трубы, поковки	Трубопроводы, корпуса сосудов, работающих под давлением, арматуры и цилиндров турбин и нагнетателей, диафрагмы, поверхности нагрева котлов	Удовлетворительная	Подогрев при толщине стенки более 10 мм
	12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 12Х2М1			Ограниченная	Подогрев при толщине стенки более 6 мм
	20ХМЛ, 20ХМФЛ, 15Х1М1ФЛ, 15Х3М1ФЛ, 15Х3МФЛ	Отливки	Корпуса арматуры, цилиндров турбин и нагнетателей	Ограниченная	Подогрев при всех толщинах стенки
	15Х5М, 15Х5МФ	Поковки	Корпуса насосов	Ограниченная	Подогрев при всех толщинах стенки
Коррозионностойкая ферритного,	08Х13, 12Х13—Ш	Листовой и фасонный прокат	Корпуса цилиндров паровых и газовых турбин, горячие опоры каркасов, рабочие и направляющие лопатки и бандажные ленты диафрагм, диски и роторы газовых турбин и компрессоров	Ограниченная	Подогрев при всех толщинах стенки
	15Х11МФ. 18Х11МНФБ	Фасонный прокат и поковки			
	20Х12ВНМФ				
ферритомартенситного и мартенситного классов	1Х11В2МФ	Трубы	Поверхности нагрева котлов, трубопроводы	Ограниченная	Подогрев при всех толщинах стенки
	15Х11МФБЛ, 15Х12ВНМФЛ, 06Х12Н3ДЛ	Отливки	Корпуса арматуры и цилиндров паровых и газовых турбин		
Коррозионностойкая жаропрочная аустенитного класса	08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т	Листовой и сортовой прокат, поковки, трубы	Корпуса сосудов, работающих под давлением, арматуры и цилиндров турбин, поверхности нагрева котлов, трубопроводы, диафрагмы турбин	Хорошая	Не требуется
	03Х16Н9М2	Трубы, поковки			
	08Х16Н13М2Б	Поковки			
	20Х23Н18	Листовой прокат	Опоры и подвески котлов, камеры сгорания, трубопроводы		
	10Х18Н9ТЛ, Х25Н13АТЛ, 08Х18Н12БЛ	Отливки	Корпуса арматуры и цилиндров турбин, литые детали диафрагм	Удовлетворительная	
Жаропрочные и жаростойкие сплавы на никелевой и железоникелевой основе	ХН78Т, ХН60ВТ	Листовой прокат	Камеры сгорания, корпуса цилиндров газовых турбин	Удовлетворительная	
	ХН35ВТ, ХН80ТБЮ, ХН65ВМТЮ	Поковки	Рабочие и направляющие лопатки газовых турбин, корпуса цилиндров газовых турбин	Ограниченная	

Примечание. Предельные температуры применения указанных материалов в конструкциях энергооборудования приведены в правилах ГГТН СССР и других нормативных документах.

Таблица 2

Вид переплава	Группа стали	Преимущества после переплава	Область применения
ЭШП, УВРВ+ВУР	Конструкционная низколегированная повышенной прочности, теплоустойчивая хромомолибденованадиевая	Повышение надежности против хрупких разрушений. Уменьшение опасности образования трещин при сварке. Изотропность свойств и повышение стойкости против слоистого растрескивания конструкций из листового проката	Диски и концевые части высоконапряженных сварных роторов, турбин низкого давления, осевых компрессоров и газовых турбин, корпуса арматуры и клапанов паровых турбин
	Высокохромистая жаропрочная		Диски газовых турбин и компрессоров и корпуса цилиндров паровых котлов
ЭШП, ВДП	Высокожаропрочная аустенитная	Уменьшение опасности образования околошовных трещин при сварке и термической обработке. Снижение склонности к локальным разрушениям при высокотемпературной эксплуатации	Сварные корпуса арматуры и цилиндров турбин
ВДП	Высокожаропрочные сплавы на никелевой основе	Повышение длительной пластичности основного металла. Изотропность свойств	Сварные узлы направляющего аппарата газовых турбин

Примечание. Обозначение методов выплавки: ЭШП — электрошлаковый переплав; УВРВ — выплавка в установке внепечного рафинирования и вакуумирования; ВУР — вакуумное раскисление стали углеродом; ВДП — вакуумно-дуговой переплав.

2.1.4. Свариваемость стали при использовании принятых способов сварки и работоспособность сварных соединений должны быть подтверждены данными испытаний сварных соединений, выполненных по рекомендуемой технологии с применением соответствующих сварочных материалов.

2.1.5. Использованные методы оценки свариваемости должны определять условия изготовления сварных конструкций, при которых обеспечивается отсутствие трещин (горячих, холодных, трещин при термической обработке и пластинчатого растрескивания) и других дефектов технологического характера (пор, шлаковых включений, непроваров и др.).

2.1.6. Методы испытания работоспособности сварных соединений должны определять условия, обеспечивающие их надежность в эксплуатации, с учетом влияния технологии сварки, режимов термической обработки и других факторов. Для теплоустойчивых и жаропрочных сталей требуются данные о длительной прочности сварных соединений, а также о степени их разупрочнения, охрупчивания и склонности к локальным разрушениям при эксплуатации в рабочих условиях.

Выбор методов испытаний, проводимых для оценки свариваемости сталей и работоспособности сварных соединений, следует производить с учетом требований, приведенных в разделе 6.

2.1.7. При выборе материала и условий изготовления крупногабаритных конструкций с толщиной свариваемых элементов свыше 30 мм, предназначенных для работы при высоких температурах (сосуды под давлением, барабаны, корпуса, сварные роторы), необходимо обеспечивать отсутствие хрупких разрушений конструкций во время изготовления и гидравлических или других испытаний при комнатной температуре. Поэтому материал конструкции должен обладать требуемыми свойствами при эксплуатации в условиях высоких температур, а также иметь необходимый запас вязкости при комнатной и низких температурах. Это требование необходимо учитывать особенно в тех случаях, когда возрастают толщина и габариты изделия, а конструкция изготавливается из легированной стали.

2.2. Требования к использованию низкоуглеродистых сталей

2.2.1. В сварных конструкциях энергооборудования из низкоуглеродистых сталей основное применение находят стали спокойной выплавки.

2.2.2. Применение в сварных конструкциях более дешевых полуспокойных низкоуглеродистых сталей, широко осваиваемых металлургической промышленностью, производится в соответствии с правилами Госгортехнадзора СССР, РТМ 24.911.01—73 и ОСТ 108.030.30—79. Выбор сварочных материалов, технологии сварки и термической обработки конструкций из этих сталей производится с учетом тех же требований, что и для стали спокойной выплавки. Полуспокойные стали рекомендуется применять в основном для деталей толщиной не более 30 мм.

2.2.3. При проектировании конструкций из низкоуглеродистых сталей следует шире применять дифференцированный прокат, поставляемый в соответствии с ТУ 14—1—3023—80. Применение дифференцированного проката снижает металлоемкость изделий на 10—25% по сравнению с прокатом обычной поставки.

2.2.4. При выборе листового проката для сварных конструкций с наличием угловых швов необходимо оценивать склонность основного металла к слоистому растрескиванию при сварке. Для исключения слоистого растрескивания рекомендуется определять величину поперечного сужения стали в направлении, нормальном к плоскости листа. Ее значения не должны быть ниже: для конструкций малой жесткости (двутавровые балки и др.) 10%; средней жесткости (коробчатые балки) 15%; высокой жесткости (толстостенные штуцера и конструкции с большим числом присоединяемых элементов) 20%.

2.2.5. Выбор материала сварных конструкций, эксплуатирующихся в районах с холодным климатом, должен определяться температурными условиями их эксплуатации и монтажа.

2.2.6. Отсутствие разрушения конструкций при их транспортировании, хранении и монтаже должно обеспечиваться согласно требованиям СНиП-II-23—81 соблюдением ряда дополнительных условий: транспортирования в летнее время, отсутствия вмерзания конструкций, отсутствия приложения ударных нагрузок и др.

2.3. Требования к использованию низколегированных сталей

2.3.1. При решении вопроса о применении для сварных конструкций низколегированных конструкционных сталей необходимо учитывать следующие их преимущества:

бóльшую прочность, позволяющую значительно снизить толщину и массу растянутых элементов стержневых конструкций и обечаек, а также толщину стенок сосудов и трубопроводов;

бóльшую хладостойкость, позволяющую применять эти стали для конструкций, работающих в районах с холодным климатом (ГОСТ 14892—69), в том числе и при больших толщинах свариваемых элементов.

2.3.2. При сварке конструкций из низколегированных конструкционных сталей должны предъявляться повышенные требования к соблюдению термического режима сварки и к прокалке сварочных материалов. При сварке узлов высокой жесткости должен вводиться подогрев.

2.3.3. Для сварных роторов низкого давления должны использоваться низколегированные стали с удовлетворительной свариваемостью. Рекомендуемые марки свариваемых роторных сталей приведены в табл. 1. Для сварных роторов нецелесообразно применение среднеуглеродистой стали марок 35ХН3МФ, 38ХН3МФЮ и им подобных, которые широко используются для цельнокованых и насадных роторов.

2.4. Требования к использованию теплоустойчивых и жаропрочных сталей и сплавов

2.4.1. Применение теплоустойчивых сталей для конструкций, эксплуатируемых в области умеренных температур (до 450°С), определяется теми же требованиями, что и для конструкционных сталей, предназначенных для работы в диапазоне температур от —60 до +60°С. При этом должна учитываться возможность термоусталостного и коррозионного повреждений.

2.4.2. Выбор материалов для конструкций, эксплуатирующихся в области ползучести (выше 450—500°С), должен проводиться с учетом склонности сварных соединений к высокотемпературному околошовному разрушению (табл. 3).

Таблица 3

Группа сталей	Склонность к высокотемпературному околошовному разрушению			
	Не склонны	Малая склонность	Склонны	Высокая склонность
Перлитная	Ст20, Ст3, 22К, 15ГС, 09Г2С, 25Л	12МХ, 15ХМ, Х2М1	12Х1МФ, 15Х1М1Ф	
Высокохромистая мартенситная	12Х13, 08Х13	15Х11МФ, 1Х11В2МФБ, 15Х12ВНМФ		
Аустенитная	Х16Н9М2	0Х18Н9, 1Х16Н13М2Б, Х23Н18	12Х18Н10Т	
Сплавы на железоникелевой и никелевой основе		ХН78Т	Х15Н35ВТ, ХН80ТБЮ	ХН65В9МТЮ, ЖС6К

При использовании сталей и сплавов, не склонных к околошовному разрушению, выбор материалов определяется теми же требованиями, что и для конструкций, эксплуатирующихся при температурах ниже 400—500°С (см. п. 2.4.1).

Для обеспечения работоспособности сварных конструкций, изготавливаемых из сталей и сплавов, склонных к высокотемпературному околошовному разрушению, требуется значительное ужесточение требований к соблюдению технологии их сварки.

2.4.3. В целях улучшения свариваемости и повышения надежности работы при высоких температурах сварных конструкций из теплоустойчивых хромомолибденованадиевых и высокохромистых сталей рекомендуется использовать стали с прочностью, не превышающей значений, приведенных в табл. 4.

Таблица 4

Марка стали	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2)	Предел прочности $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2)	Твердость по Бринеллю, НВ
12Х1МФ	421 (45)	637 (65)	195
15Х1М1Ф	490 (50)	686 (70)	210
15Х1М1ФЛ	450 (48)	637 (65)	210
15Х11МФ	588 (60)	784 (80)	240
18Х11МНФБ	666 (68)	833 (85)	260
15Х12ВНМФ	637 (65)	833 (85)	260
15Х11МФБЛ	588 (60)	784 (80)	240
1Х11В2МФ	637 (65)	833 (85)	260
20ХН3МФА	637 (65)	784 (80)	240
20Х12Н13МФ	637 (65)	784 (80)	240

2.4.4. При необходимости использования аустенитной стали в качестве коррозионно-стойкой для эксплуатации при температуре менее 500°С наиболее целесообразным является применение стали марок 12Х18Н10Т или 08Х18Н10Т.

2.4.5. Для сварных изделий из аустенитных сталей, эксплуатирующихся в интервале температур от 500 до 650°С (трубные системы при толщине стенки свыше 10 мм или сложные конструкции корпусного типа при меньшей толщине стенки), рекомендуется применять преимущественно стали марок 03Х16Н9М2 и 08Х16Н13М2Б. Поверхность швов ответственных сварных соединений должна подвергаться обязательной зачистке до плавного сопряжения с основным металлом. При невозможности зачистки швов (например, корневой части стыков трубопроводов и роторов) следует применять виды сварки, обеспечивающие плавное сопряжение шва с основным металлом (например, аргонодуговую сварку неплавящимся электродом). Для малонагруженных элементов при температуре эксплуатации 650—700°С целесообразно использовать сталь 20Х23Н18.

2.4.6. При использовании высокожаропрочных аустенитных сталей необходимо учитывать их склонность к образованию околошовных трещин при сварке и в процессе термической обработки и к локальным разрушениям при эксплуатации в зоне высоких температур.

Для увеличения надежности сварных конструкций повышенной жесткости рекомендуется:

применять стали и сплавы, полученные методами электрошлакового и вакуумно-дугового переплава;

вводить обязательную зачистку перед термической обработкой наружной и внутренней поверхностей швов до плавного сопряжения с основным металлом, а при отсутствии подхода к швам ис-

пользовать специальные технологические приемы, обеспечивающие плавность сопряжения шва с основным металлом;

располагать сварные швы по возможности вне зоны высоких рабочих напряжений изгиба (см. п. 5.8);

ограничивать величину зерна стали (не менее балла 3 по ГОСТ 5639—82);

вводить преимущественно аустенизирующую термическую обработку сварных соединений.

2.4.7. При использовании отливок из аустенитных сталей необходимо применять стали с гарантированной аустенитно-ферритной структурой. Содержание ферритной фазы в отливках должно проверяться с помощью объемных или контактных ферритометров. При температуре эксплуатации отливок выше 500°С содержание ферритной фазы в них рекомендуется в пределах 0—5%, при меньшей температуре — в пределах 0—15%.

3. ВЫБОР ВИДА СВАРКИ И СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

3.1. Общие положения

3.1.1. Выбор вида сварки, сварочных материалов и технологии сварки изделий должен производиться с учетом следующих требований, обеспечивающих получение оптимальных технико-экономических показателей конструкции:

равнопрочность и минимальный разброс свойств сварных соединений;

максимальная механизация технологического процесса сварки в целях повышения производительности труда и качества сварных соединений;

удобство выполнения сварочных операций;

минимальное коробление сварных конструкций;

надежность контроля сварных соединений.

3.2. Области применения контактной сварки

3.2.1. Контактная сварка является наиболее производительным способом и применяется в условиях массового производства однотипных деталей. На предприятиях энергомашиностроения она используется для сварки стыков и шипования труб поверхностей нагрева, приварки оребрения труб теплообменных аппаратов и т. д. Качество сварных соединений, выполненных контактной сваркой, заметно меняется при сравнительно небольших отклонениях от оптимального режима. В связи с этим должны применяться специализированные стыкосварочные машины с автоматизированным циклом работы и устройствами для удаления наружного и внутреннего грата.

Рекомендуются следующие перспективные способы контактной сварки.

Контактная стыковая сварка оплавлением является основным способом сварки на котельных заводах труб поверхностей нагрева с наружным диаметром до 83 мм включительно. Этот метод

освоен для всех котельных трубных сталей, при отлаженном и стабильном режиме сварки обеспечивает требуемое качество сварных стыков. Для высокотеплонапряженных поверхностей нагрева рекомендуется замена контактных стыков на стыки, выполненные способом аргонодуговой сварки или комбинированным способом; рациональна такая замена и для тонкостенных труб с соотношением наружного диаметра $D_н$ к толщине стенки не более 12 для труб из аустенитных сталей и не более 20 для труб из перлитных сталей.

Контактная сварка оплавлением с нагревом токами радиочастоты перспективна для оребрения гладких труб плавниковых панелей благодаря высокой производительности процесса и минимальному проплавлению стенки трубы, обеспечивающему сохранение прочности сварных соединений. При использовании этого способа сварки должны повышаться требования к стабильности режима сварки, обеспечивающие гарантированное сплавление плавника со стенкой трубы и отсутствие выплесков грата.

Контактная стыковая сварка сопротивлением с нагревом ТВЧ и токами радиочастоты перспективна при сварке труб поверхностей нагрева из низкоуглеродистых сталей. Преимуществом ее является отсутствие грата на внутренней поверхности стыка, что обусловливает более высокие, чем при сварке оплавлением, гидравлические характеристики стыков. Освоена для стали марки 20. Использование ее для труб из стали 12Х1МФ и комбинированных стыков из сталей 12Х1МФ+12Х18Н10Т не обеспечивает стабильных характеристик жаропрочности и требует доработки процесса.

Механизированная контактная приварка шипов экранных труб на специализированных машинах, являющаяся основным способом шипования прямых труб с последующей их гибкой, освоена при изготовлении шипов из сталей марок 20 и 12Х1МФ.

Контактная шовная сварка используется для приварки продольного оребрения труб из стали марок 20 и 12Х18Н10Т теплообменных аппаратов и регенераторов газовых турбин и для сварки листовых конструкций камер сгорания из аустенитных жаропрочных сталей и сплавов на никелевой основе.

3.2.2. Недостатком контактной сварки является отсутствие методов неразрушающего контроля качества сварных соединений. Поэтому для повышения надежности контактных стыков должны проводиться ежесменная проверка качества наладки сварочных машин путем экспресс-испытаний контрольных образцов в начале смены и периодический выборочный контроль разрушающими методами стыков готовой продукции или образцов-свидетелей. Целесообразно оснащение сварочных машин устройствами, контролирующими параметры сварки каждого стыка и обеспечивающими постоянство сварочных режимов. Для поддержания стабильности уровня контактной сварки систематически должна производиться статистическая оценка уровня брака по распределению дефектов с учетом типоразмеров стыков и марок сталей.

3.3. Области применения сварки плавлением

3.3.1. Сварка плавлением широко используется на предприятиях энергомашиностроения для изготовления ответственных конструкций из всех марок сталей. Основными ее способами являются: автоматическая дуговая сварка под флюсом, электрошлаковая сварка, автоматическая и полуавтоматическая сварка в углекислом газе, аргоне или смеси защитных газов, электронно-лучевая, лазерная и др.

3.3.2. Автоматическая дуговая сварка под флюсом — наиболее распространенный в энергомашиностроении механизированный вид сварки плавлением — применяется для сварки трубных систем при наружном диаметре труб свыше 100 мм, продольных и кольцевых швов сосудов под давлением и барабанов котлов, продольных швов труб большого диаметра из конструкционных сталей, а также для вварки проставок в мембранные панели котлов и для приварки штуцеров к барабанам, коллекторам и т. д. Она обеспечивает высокое качество сварных соединений. Сварку следует выполнять в нижнем положении, что вызывает необходимость в повороте изделия. Экономически наиболее эффективно ее применение при сварке протяженных швов простой конфигурации (прямых и кольцевых). При использовании промышленных роботов этот метод экономически эффективен и для выполнения швов сложной конфигурации.

До разработки специальных сварочных материалов этот способ сварки не рекомендуется для изготовления продольно-сварных труб большого диаметра из теплоустойчивых хромомолибденованадиевых сталей, подвергающихся после сварки калибровке с нагревом по режиму нормализации.

При сварке под флюсом ответственных конструкций особое внимание должно уделяться качеству корневого шва. При выполнении корневого шва ручной дуговой сваркой он после заполнения основной разделки должен полностью удаляться с последующей подваркой с обратной стороны. Допускается сварка корневого шва методом аргонодуговой сварки без последующей подварки.

Автоматическая дуговая сварка под флюсом в узкую (щелевую) разделку рекомендуется при сварке ответственных конструкций большой толщины (свыше 50 мм) из низко- и среднелегированных сталей повышенной прочности.

3.3.3. Электрошлаковая сварка (ЭШС) — наиболее высокопроизводительный способ сварки швов постоянного и переменного сечения при толщине элементов свыше 25 мм для продольных швов и свыше 90 мм для кольцевых швов. Она освоена для низкоуглеродистых сталей, низколегированных конструкционных и аустенитных сталей. В энергомашиностроении этот метод применяется при сварке барабанов котлов и сосудов, работающих под давлением. ЭШС перспективна для сварки продольносварных труб большого диаметра при толщине стенки свыше 25 мм.

При принятой в настоящее время технологии ЭШС сварные соединения подлежат обязательной высокотемпературной термической обработке (нормализации или закалке с отпуском), что ограничивает ее широкое применение из-за высокой стоимости общей термической обработки и коробления изделия.

Термический цикл электрошлаковой сварки низко- и среднелегированных сталей повышенной прочности с характерными для него высокими тепловложениями вызывает заметное ухудшение свойств сварного соединения, что требует проведения дорогостоящей многоступенчатой термической обработки. При высоте шва до 500 мм рекомендуется замена электрошлаковой сварки на автоматическую дуговую сварку в узкую разделку.

3.3.4. Автоматическая и полуавтоматическая сварка в углекислом газе — наиболее дешевый из существующих способов сварки плавлением. Она широко используется при сварке конструкций типа корпусов, рам, диафрагм и других узлов из листового и фасонного проката низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей, а также при заварке дефектов конструкций из хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых литых сталей. Применяется также для сварки стыков тонкостенных трубопроводов из низкоуглеродистой стали.

3.3.5. Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка в аргоне или смеси защитных газов плавящимся и неплавящимся электродами в энергомашиностроении применяется в основном для сварки труб поверхностей нагрева, паропроводов и других кольцевых стыков изделий (например, сварных роторов) с полным проплавлением корневого шва без подкладных колец. Применение этого способа позволяет обеспечить высокое качество корневого сечения шва и отсутствие в нем концентраторов напряжений.

Этот метод рекомендуется применять взамен контактной сварки для стыков теплонапряженных поверхностей нагрева котлов, а также для приварки труб к трубным доскам теплообменных аппаратов при толщине стенки труб менее 2 мм.

Перспективными являются способы аргонодуговой сварки пульсирующей и синхронизирующей дугой.

3.3.6. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами благодаря своей универсальности широко применяется на заводах энергомашиностроения для сварки изделий со сварными швами небольшой протяженности или сложной конфигурации, а также для заварки дефектов литья на заводах и электростанциях.

3.3.7. Ручная газовая сварка — наименее производительный из существующих способов сварки — применяется лишь для вспомогательных работ. Требуемое качество соединений, выполненных этим способом сварки, может быть обеспечено только газосварщиками высшей квалификации при весьма тщательном соблюдении технологического процесса и при использовании ацетилена высокой чистоты. Из-за трудностей получения высокого качества свар-

ных соединений широкое применение этого способа не рекомендуется.

3.3.8. Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) обеспечивает высокое качество сварных соединений, минимальные деформации сваренного изделия (в 5—10 раз меньше, чем при дуговой сварке) и возможность сварки сталей с ограниченной свариваемостью. Освоена для сварки рабочих лопаток первых ступеней высокого давления паровых турбин, корпусов арматуры и шестерен. Перспективна, в первую очередь, для изготовления сварных узлов высокой точности из механически обработанных деталей, в том числе сварных роторов и диафрагм турбин, стыков труб, сварных сосудов ответственного назначения. При применении этого метода требования к точности сборки заготовок под сварку значительно ужесточаются.

3.3.9. Лазерная сварка является перспективным способом сварки тонколистовых конструкций и обеспечивает высокую производительность и хорошее качество соединений при минимальных деформациях. Ее внедрение сдерживается отсутствием промышленных лазерных установок требуемой мощности. Области применения те же, что для электронно-лучевой сварки.

3.3.10. Сварные соединения, выполненные сваркой плавлением, контролируются неразрушающими методами контроля: ультразвуковым, радиографическим (рентгено- и гаммаграфия), поверхностной дефектоскопией и испытанием под внутренним давлением. Для ответственных сварных узлов необходимо применять одновременно несколько методов контроля.

3.4. Области применения способов наплавки и облицовки

3.4.1. Наплавка используется в энергомашиностроении для создания облицовочных слоев на внутренней поверхности сосудов под давлением (при работе в коррозионно-активных средах), уплотнительных поверхностей арматуры, для наплавки трубных досок и т. д. Применяются следующие виды наплавки: автоматическая наплавка под флюсом лентой, сварка взрывом, плазменная наплавка, автоматическая наплавка под флюсом проволокой и ручная наплавка.

3.4.2. Автоматическая наплавка под флюсом лентой — высокопроизводительный способ наплавки больших поверхностей, широко используемый в энергомашиностроении. Ее преимуществом является сравнительно малая доля основного металла в наплавке (не более 8—10%), что позволяет в ряде случаев ограничиться нанесением одного или двух слоев. Освоена ленточная наплавка аустенитных, высокохромистых и износостойких слоев, наиболее целесообразно ее применение для наплавки участков обойм и диафрагм влажно-паровых турбин, подверженных щелевой эрозии.

3.4.3. Плазменная наплавка — оптимальный способ создания уплотнительных поверхностей арматуры высокого давления. Ее преимуществом является весьма низкое проплавление основного металла (до 3%), что позволяет ограничиваться наплавкой лишь

одного слоя. Применение плазменной наплавки сдерживается низкой производительностью существующего оборудования.

3.4.4. Автоматическая наплавка под флюсом проволокой обеспечивает высокое качество при наложении двух или трех слоев. При создании облицовочных поверхностей сосудов наиболее целесообразно ее применение в сочетании с наплавкой лентой для получения наплавленных поверхностей в местах перехода сечения, где использование наплавки лентой невозможно. В настоящее время она применяется для наплавки участков, подвергающихся интенсивному эрозионному износу, обойм и диафрагм атомных паровых турбин и для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры.

3.4.5. Ручная наплавка — малопроизводительный способ — для создания больших наплавленных поверхностей не применяется и используется только при отсутствии механизированных методов, а также при ремонте облицованных поверхностей.

3.4.6. Сварка взрывом является перспективным способом для облицовки больших поверхностей, приварки труб к трубным доскам и соединения плохо свариваемых металлов в различных сочетаниях (например, титана со сталью, алюминия со сталью и других). Сварка взрывом освоена для облицовки аустенитной сталью лопастей гидротурбин и обечаек сосудов для соединения труб с трубными досками в теплообменных аппаратах для производства плакированных листов.

3.5. Способы сварки основных типов котельных и турбинных сварных конструкций

3.5.1. Способы сварки основных узлов энергетического оборудования и сравнительная их оценка приведены в табл. 5.

3.6. Выбор сварочных материалов и технологии сварки

3.6.1. Выбор сварочных материалов производится с учетом требований правил ГГТН СССР, а также ОСТ 108.940.102—87 (для трубных систем), ОСТ 108.030.39—80 (для барабанов котлов), ОСТ 108.030.30—79 (для каркасов котлов), РТМ 108.940.03—83 (для конструкций паровых и газовых турбин).

3.6.2. Сварочные материалы и технология сварки для турбинных узлов должны выбираться с учетом особенностей изготавливаемой конструкции, отраженных в специальных заводских инструкциях по сварке данного узла.

3.6.3. Для сварки конструктивных швов трубопроводов, литых и кованых корпусов арматуры и турбин из стали одного уровня легирования, а также деталей, работающих в аналогичных условиях, рекомендуется применять сварочные материалы, указанные в табл. 6.

Примечание. Для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей применяются электроды по ГОСТ 9467—75, для сварки высоколегированных — по ГОСТ 10052—75; сварочная проволока — по ГОСТ 2246—70; флюс — по ГОСТ 9087—81; аргон — по ГОСТ 10157—79; углекислый газ — по ГОСТ 8050—76.

Таблица 5

Сварные узлы и наплавляемые поверхности	Способы сварки и наплавки		
	рекомендуемый	допускаемый	ограниченно допускаемый
	Сварные конструкции котлов и трубопроводов		
Стыки труб поверхностей нагрева	1. Автоматическая или ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом с применением присадочной проволоки без подкладных колец. 2. Контактная стыковая сварка оплавлением на машинах с автоматизированным циклом работы. 3. Комбинированный способ: корневой слой — автоматическая или ручная аргонодуговая сварка без подкладных колец; последующие слои — ручная дуговая сварка покрытыми электродами	—	Ручная дуговая сварка на подкладном кольце
Стыки паропроводных труб и трубопроводов питательной воды, а также с литыми, коваными, штампованными и сварными деталями	1. Автоматическая или ручная аргонодуговая сварка без подкладных колец (при толщине стенки трубы до 15 мм).	1. Комбинированный способ: первые два слоя — ручная дуговая сварка покрытыми электродами на остающихся подкладных кольцах; последующие слои — автоматическая дуговая сварка под флюсом.	Ручная дуговая сварка без подкладного кольца (при сварке трубопроводов низкого давления из сталей 20 и Ст3 при $\delta \leqslant 5{,}5$ мм)
	2. *Комбинированный способ:* корневой слой — автоматическая или ручная аргонодуговая сварка без подкладных колец; последующие слои — автоматическая дуговая сварка под флюсом (при толщине стенки трубы более 15 мм).	2. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами на остающихся подкладных кольцах.	

Продолжение табл. 5

Сварные узлы и наплавляемые поверхности	Способы сварки и наплавки		
	рекомендуемый	допускаемый	ограниченно допускаемый
Стыки паропроводных труб и трубопроводов питательной воды, а также с литыми, коваными, штампованными и сварными деталями	3. Комбинированный способ: корневой слой — автоматическая или ручная дуговая сварка без подкладных колец; последующие слои — ручная дуговая сварка (при толщине стенки трубы 15 мм)	3. Комбинированный способ: корневой слой — автоматическая или ручная аргонодуговая сварка без подкладных колец; последующие слои — автоматическая или полуавтоматическая сварка в углекислом газе	Ручная дуговая сварка без подкладного кольца (при сварке трубопроводов низкого давления из сталей 20 и Ст3 при $\delta \leqslant 5{,}5$ мм)
Соединение штуцеров с трубопроводами, коллекторами, барабанами, литыми, штампованными и сварными деталями	1. Автоматическая дуговая сварка под флюсом или ручная дуговая сварка покрытыми электродами с разделкой кромок и последующая расточка внутреннего отверстия штуцера. 2. Комбинированный способ: корневой слой — автоматическая или ручная аргонодуговая сварка с разделкой кромок без применения подкладных колец; последующие слои — автоматическая дуговая сварка под флюсом или ручная дуговая сварка покрытыми электродами	Автоматическая дуговая сварка под флюсом или ручная дуговая сварка без разделки кромок (при условии соблюдения требований ГОСТ 24663—81)	—
Соединения шипов с трубами	1. Контактная на аппаратах. 2. Полуавтоматическая под флюсом и сварка в защитных газах (гибы)	—	Ручная дуговая сварка
Газоплотные панели из сталей: низкоуглеродистых и типа 15ХМ типов 12Х2М1 и 12Х1МФ	1. Автоматическая сварка под флюсом гладких труб с проставками. 2. Контактная приварка плавников токами высокой частоты и автоматическая сварка под флюсом оребренных труб	Автоматическая сварка под флюсом плавниковых труб	Ручная дуговая сварка (для вварки гарнитуры)
Сосуды под давлением (барабаны котлов и теплообменные аппараты различного назначения)			
Корпуса сосудов под давлением: при толщине обечаек до 25 мм при толщине обечаек свыше 25 мм	Автоматическая сварка под флюсом продольных и кольцевых швов 1. Электрошлаковая сварка продольных швов, автоматическая сварка под флюсом кольцевых швов. 2. Автоматическая дуговая сварка под флюсом в узкую разделку продольных и кольцевых швов. 3. Электрошлаковая сварка продольных и кольцевых швов	—	1. Ручная дуговая сварка продольных и кольцевых швов. 2. Автоматическая и полуавтоматическая сварка в углекислом газе
Внутренние поверхности сосудов	Наплавка лентой под флюсом, двухслойный прокат, сварка взрывом	—	Ручная дуговая сварка
Соединения труб с трубными досками	Автоматическая обварка труб с последующей вальцовкой взрывом	Автоматическая обварка: в защитных газах при $S<3$ мм; под флюсом при $S>3$ мм	Ручная обварка в защитных газах при $S<2{,}5$ мм. Ручная дуговая обварка при $S \geqslant 3$ мм
Сварные конструкции турбин			
Корпусные конструкции турбин и арматуры из литых и кованых элементов	Автоматическая сварка под флюсом	Ручная дуговая сварка и полуавтоматическая сварка в углекислом газе (для корпусов из низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей)	—

Продолжение табл. 5

Сварные узлы и наплавляемые поверхности	Способы сварки и наплавки		
	рекомендуемый	допускаемый	ограниченно допускаемый
Выхлопные части корпусов турбин из листовых элементов: стыковые швы стенок	Автоматическая односторонняя дуговая сварка под флюсом	Автоматическая двухсторонняя сварка под флюсом	Автоматическая двухсторонняя сварка в углекислом газе
Угловые, тавровые и стыковые швы криволинейного очертания	Автоматическая дуговая сварка в защитном газе	Полуавтоматическая дуговая сварка в углекислом газе	—
Уплотнительные поверхности арматуры	1. Плазменная наплавка. 2. Автоматическая наплавка под флюсом сварочной лентой	1. Автоматическая наплавка под флюсом сварочной проволокой. 2. Аргонодуговая наплавка. 3. Ручная дуговая наплавка покрытыми электродами	Газовая наплавка
Диафрагмы паровых турбин	1. Электронно-лучевая сварка. 2. Ручная дуговая сварка решетки и автоматическая сварка в углекислом газе основных швов	—	Ручная дуговая сварка
Роторы	Автоматическая аргонодуговая сварка корня шва; заполнение основной разделки способом автоматической сварки под флюсом в узкую разделку	Автоматическая сварка под флюсом с формированием корневого шва на специальном подкладном кольце	—
Рабочие лопатки колес скорости	Электронно-лучевая сварка	—	Ручная дуговая сварка
Входные кромки рабочих лопаток (упрочнение)	1.Припайка стеллитовых пластин. 2. Закалка кромок токами высокой частоты	—	—
Направляющие аппараты газовых турбин из высокопрочных сплавов на никелевой основе	Электронно-лучевая сварка	Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом	—

Таблица 6

Марка стали	Ручная дуговая сварка	Автоматическая дуговая сварка под флюсом		Электрошлаковая сварка		Аргонодуговая сварка	Сварка в углекислом газе
		Проволока	Флюс	Проволока	Флюс		
ВСт3сп, ВСт3пс	Э-42А [1]	Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА	АН-348, ОСЦ-45	Св-0Г2	АН-8	Св-08ГС, Св-00Г2С	Св-08Г2С, ПП-АН-8
20Л, 25Л, 25Л+20, 20+20К	Э-42А	Св-10Г2	ФЦ-11				
22К, 25Л	Э-50А	Св-08ГА	ОСЦ-45	Св-12ГС			
22К+15ГС	Э-50А	Св-08ГС	ФЦ-11				
15ГС, 16ГС, 20ГСЛ, 09Г2С, 08ГДНФЛ		Св-08ГС, Св-12ГС	ФЦ-11, ФЦ-16				
16ГНМА	Э-50А	Св-10НМА		Св-10НМА			
25Х2НМФА, 20ХН2МФА, 20ХН3МФА	Э-50А [2], Э-09Х1М	Св-08ХН2ГМЮ	АН-17М	—	—	—	—
12ХМ, 12МХ, 15ХМ, 20ХМЛ, 12ХМ+15ХМ, 12ХМ+20ХМЛ	Э-09Х1М, Э-09МХ	Св-08ХМ	ФЦ-11, ФЦ-16	—	—	Св-08ХМ, Св-08ХГСМА	Св-08ХГСМА
12Х2М1	Э-05Х2М1	Св-08Х2М1	ФЦ-11, ФЦ-16	—	—	Св-08Х2М1	—
12Х1МФ [3], 15Х1М1Ф [3], 20ХМФЛ, 15Х1М1ФЛ [3]	Э-09Х1МФ	Св-08ХМФА	ФЦ-11, ФЦ-16, ФВТ-1 [4] ФВТ-2 [4]	—	—	Св-08ХМФА, Св-08ХГСМФА	Св-08ХГСМФА
15Х5М, 15Х5МФ	Э-10Х5МФ	—	—	—	—	—	—
08Х13, 12Х13	Э-12Х13, Э-10Х25Н13Г2 [5]	Св-0Х14, Св-08Х14ГНТ	АН-26	—	—	—	—
06Х12Н3Д, 06Х12Н3ДЛ	ЦЛ-51	Св-0Х12Н2ВИ	СЦ-19	—	—	—	—
15Х11МФ [3]	Э-12Х11НМФ	—	—	—	—	—	—
18Х11МНФБ, 20Х12ВНМФ, 18Х11НФБЛ, 15Х12ВНМФЛ	Э-12Х11НВМФ	—	—	—	—	—	—
1Х11В2МФ	Э-14Х11НВМФ	—	—	—	—	—	—
08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 08Х18Н9ТЛ, 08Х18Н12Б	Э-08Х19Н10Г2Б, Э-09Х19Н11Г3М2Ф	Св-04Х19Н11М3, Св-08Х19Н10Г2Б, Св-04Х20Н10Г2Б	ОФ-6, ФЦ-17	Св-04Х19Н11М3	ОФ-6	Св-04Х19Н11М3, Св-08Х19Н10Г2Б, Св-04Х20Н10Г2Б	—
03Х16Н9М2	Э-08Х16Н9М2	Св-08Х16Н9М2	ОФ-6, ФЦ-17	—	—	Св-08Х16Н9М2	—
08Х16Н13М2Б	Э-09Х19Н11Г3М2Ф	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 6

Марка стали	Ручная дуговая сварка	Автоматическая дуговая сварка под флюсом		Электрошлаковая сварка		Аргонодуговая сварка	Сварка в углекислом газе
		Проволока	Флюс	Проволока	Флюс		
Х25Н13АТЛ	Э-09Х19Н11Г3М2Ф, Э-10Х25Н11Г2	—	—	—	—	—	—
20Х23Н18	Э-10Х25Н13Г2	—	—	—	—	—	—
ХН78Т	Э-08Х14Н65М15В4Г2	—	—	—	—	Св-06Х15Н60М15	—
ХН60В	Э-08Х14Н65М15В4Г2	—	—	—	—	Св-06Х15Н60М15	—
ХН35ВТ	Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т	—	—	—	—	Св-30Х15Н35В3Б3Т	—
ХН80ТБЮ, ХН65ВМТЮ	Э-08Х14Н65М15В4Г2	—	—	—	—	ЭИ642, ЭИ643	—

[1] Допускается замена электродами марок МР-3, АНО-4 и ОЗС-6 для сварки следующих изделий из низкоуглеродистых сталей: трубопроводов пара и горячей воды категории 3 и 4, трубопроводов в пределах котла и турбины с рабочим давлением не более 3,9 МПа и температурой пара не более 350°С, труб поверхностей нагрева и их приварки к коллекторам с рабочим давлением до 5 МПа.

[2] Для сварки корневых проходов.

[3] Освоена электронно-лучевая сварка узлов энергооборудования.

[4] Для сварки газоплотных панелей.

[5] Сварка без подогрева и термической обработки.

3.6.4. При ручной или механизированной сварке теплоустойчивых сталей такие параметры, как погонная энергия, температура подогрева, раскладка валиков и другие, должны обеспечивать оптимальную структуру металла шва, при которой суммарная площадь мелкозернистых участков перекристаллизации (не крупнее 7 балла шкалы ГОСТ 5639—82) должна составлять не менее 50% общей площади сечения шва, а толщина слоя с крупнозернистой структурой не должна превышать 5 мм.

3.6.5. При сварке в узкую разделку (при относительной ширине разделки h/S, где h — ширина разделки, S — высота шва, менее 0,25) прочность металла шва должна составлять не менее 80% от прочности основного металла, а относительное сужение ψ не менее 60%.

3.6.6. При выборе сварочных материалов для сварки комбинированных конструкций из разнородных сталей необходимо учитывать вероятность развития в сварных соединениях структурной, химической и механической неоднородности, которая может снизить работоспособность изделия. Рекомендации по выбору сварочных материалов, учитывающие эти факторы, для сварных соединений трубных систем котлоагрегатов и трубопроводов приведены в ОСТ 108.940.102—87. Возможные сочетания сталей, применяемые в энергетике, а также материалы для сталей и сплавов разного уровня легирования одного структурного класса приведены в табл. 7, для сталей разных структурных классов — в табл. 8.

3.6.7. Предельная температура эксплуатации сварных соединений однородных сталей принимается равной предельной температуре для основного металла, а комбинированных сварных соединений разнородных сталей в большинстве случаев — по предельной температуре для менее прочной стали.

Для конструкций из разнородных сталей с толщиной свариваемых элементов свыше 20 мм при большой разнице в уровне легирования сталей предельная рабочая температура комбинированных стыков должна быть дополнительно снижена по сравнению с предельной для менее прочной стали. Это связано с опасностью развития в зоне сплавления диффузионных прослоек, а также с наличием дополнительных собственных напряжений за счет разности коэффициентов термического расширения.

4. ТРЕБОВАНИЯ К РАСЧЕТУ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

4.1. Расчет сварных узлов должен производиться в соответствии с нормативными материалами с учетом требований раздела 5.

4.2. Расчет сварных конструкций паровых котлов, сосудов, трубопроводов следует производить по нормам расчета элементов паровых котлов, трубопроводов и их фасонных элементов на прочность.

Таблица 7

Сочетание свариваемых сталей		Ручная дуговая сварка	Автоматическая дуговая сварка		Аргонодуговая сварка	Сварка в углекислом газе
менее легированные	более легированные		Проволока	Флюс		
ВСт3сп, ВСт3пс, ВСт3Гпс, 20, 20К, 25Л	22К, 15ГС, 16ГС, 09Г2С, 16ГНМА, 12ХМ, 15ХМ, 20ХМЛ	Э-42А, Э-50А	Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА	ОСЦ-45, АН-348	Св-08ГС, Св-08Г2С	Св-08Г2С, ПП-АН-8
ВСт3сп, ВСт3пс, 12ХМ, 15ХМ	15Х5М, 15Х5МФ	Э-09Х1М	Св-08ХМ	ФЦ-11, ФЦ-16	Св-08ХМ, Св-08ХГСМА	—
15ГС, 16ГС, 09Г2С	12ХМ, 15ХМ	Э-50А	Св-08ГА	ОСЦ-45, АН-348	Св-08ХМ, Св-08ХГСМА	Св-08ХГСМА
ВСт3сп, ВСт3пс, 20, 20К, 25Л, 15ГС, 16ГС	12Х1МФ, 20ХМФЛ, 15Х1М1Ф, 15Х1М1ФЛ	Э-09Х1М	Св-08ХМ	ФЦ-11, ФЦ-16	Св-08ХМ, Св-08ХГСМА	Св-08ХГСМА
12ХМ, 15ХМ, 20ХМЛ	12Х1МФ, 20ХМФЛ, 15Х1М1Ф, 15Х1М1ФЛ,	Э-09Х1М	Св-08ХМ	ФЦ-11, ФЦ-16	Св-08ХМ, Св-08ХГСМА	Св-08ХГСМА
08Х13, 12Х13	15Х11МФ, 18Х11МНФБ, 20Х12ВНМФ	Э-12Х13, Э-10Х25Н13Г2 [1]	Св-0Х14ГНТ	АН-26	Св-0Х14ГНТ	—
08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т	20Х23Н18	Э-10Х25Н13Г2, Э-11Х15Н25М6АГ2	—	—	Св-07Х25Н13, Св-10Х16Н25АМ6, Св-06Х18Н10М3Т	—
08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т	ХН35ВТ, ХН78Т, ХН60В	Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т, Э-11Х15Н25М6АГ2, Э-09Х19Н11Г3М2Ф	—	—	Св-30Х15Н35В3Б3Т	—

[1] Сварка без подогрева и термической обработки.

Таблица 8

Сочетание свариваемых сталей		Ручная дуговая сварка	Аргонодуговая сварка	Сварка в углекислом газе
менее легированные	более легированные			
ВСт3сп, ВСт3пс, Ст20, 20К, 15ГС, 16ГС, 09Г2С	08Х13, 12Х13	Э-09Х1М, Э-10Х25Н13Г2 [1]	Св-08ХМ, Св-08ХГСМА	Св-08Г2С, ПП-АН8
12ХМ, 15ХМ, 20ХМЛ		Э-09Х1МФ, Э-10Х25Н13Г2 [1]	Св-08ХМФ, Св-08ХГСМФА	Св-08ХГСМА
12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХМФЛ, 15Х1М1ФЛ	08Х13, 12Х13, 18Х11МНФБ, 15Х11МФ, 20Х12ВНМФ	Э-09Х1МФ, Э-Х2МФБ+Э-09Х1МФ [2], Э-10Х25Н13Г2	—	Св-08ХГСМФА
ВСт3сп, ВСт3пс, 20, 12ХМ, 15ХМ	08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т	Э-10Х25Н13Г2, Э-10Х15Н25М6Г2	Св-10Х15Н25АМ6	—
12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 08Х13, 12Х13, 15Х11МНФБ, 15Х11МФ	12Х18Н10Т, 20Х23Н18	Э-08Н60Г7М7Т [3]	Э-08Н60Г7М7	—
ВСт3сп, ВСт3пс, 20, 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф	ХН78Т, ХН60В	Э-08Х14Н65М15В4Г2, Э-08Н60Г7М7Т	ХН78Т, ХН60В	—

[1] Применять при невозможности термической обработки и температуре эксплуатации не выше 400°С.
[2] Облицовка кромок высокохромистой стали электродами типа Э-Х2МФБ и заварка основной разделки электродами типа Э-09Х1МФ. Применять при толщине свариваемых элементов более 20 мм и температуре эксплуатации выше 500°С.
[3] Предпочтительнее при температуре эксплуатации выше 450°С.

4.3. Расчет сварных диафрагм паровых и газовых турбин — в соответствии с ОСТ 108.210.01—76.

4.4. В расчете сварных соединений, подверженных действию рабочих напряжений (например, продольного стыка труб), при условии высокого качества изготовления элементов, проведении в необходимых случаях термической обработки после сварки и 100%-ного контроля сварных узлов неразрушающими методами следует принимать следующие значения коэффициента прочности φ_w сварного соединения:

для низкоуглеродистой, низколегированной конструкционной, теплоустойчивой хромомолибденовой стали марок 12ХМ, 12МХ и 15ХМ, нержавеющей высокохромистой стали марок 08Х13 и 12Х13 и аустенитной жаропрочной стали $\varphi_w = 1{,}0$;

для теплоустойчивой хромомолибденованадиевой и высокохромистой стали: при электрошлаковой сварке $\varphi_w = 1{,}0$; при ручной дуговой и автоматической сварке под флюсом для расчетной температуры 510°С и менее $\varphi_w = 1{,}0$, для расчетной температуры 530° и более $\varphi_w = 0{,}7$; при электронно-лучевой сварке для расчетной температуры 510°С и менее $\varphi_w = 1{,}0$, для расчетной температуры 530°С и более $\varphi_w = 0{,}8$.

Усиление шва при расчете прочности не учитывается.

4.5. Коэффициент прочности комбинированных сварных соединений при температуре эксплуатации до 400°С принимается по значениям для сварных однородных соединений менее прочной стали. При температурах эксплуатации более 400°С его значения принимаются согласно данным испытаний на длительную прочность сварного соединения конкретного сочетания сталей.

4.6. При расчете сварных соединений низкоуглеродистой и низколегированных сталей, контроль качества которых неразрушающими методами не производится, значения φ_w следует принимать не более 0,7.

4.7. Для спиральношовных труб коэффициент прочности сварного соединения, определенный в пп. 4.5 и 4.6, должен быть уменьшен пропорционально смещению кромок: например, при смещении кромок на 15% значение коэффициента прочности должно быть умножено на 0,85.

4.8. Для сварных соединений роторов максимальные переменные напряжения изгиба не должны превышать 10 МПа. При проектировании следует стремиться к тому, чтобы осевые напряжения от центробежных сил в корне шва были сжимающими. Остаточные напряжения в корне шва не должны превышать 49 МПа.

4.9. Расчетная высота угловых соединений принимается равной 0,7 катета шва. Для однослойных угловых соединений, выполненных автоматической сваркой под флюсом, расчетный катет следует принимать равным катету шва.

Для однослойных сварных соединений, выполненных сваркой в углекислом газе, при выборе расчетного катета следует руководствоваться требованием ГОСТ 14771—76.

4.10. При проверочных расчетах эквивалентных напряжений от действия внешних нагрузок и самокомпенсации для сварных соединений, изготовленных из жаропрочных высокохромистых и аустенитных сталей, следует согласно ОСТ 108.031.02—75 дополнительно учитывать коэффициент прочности сварных соединений при изгибе φ_b.

4.11. Величина коэффициента прочности кольцевых сварных стыков труб при изгибе φ_b принимается согласно табл. 9, а для комбинированных сварных соединений труб пароперегревателей из сталей 12Х1МФ и 12Х18Н10Т — по табл. 10.

Таблица 9

Класс стали	Коэффициент прочности φ_b для труб	
	катаных	механически обработанных
Аустенитная хромоникелевая и высокохромистая	0,6	0,7
Хромомолибденованадиевая при расчетной температуре:		
510°С и менее	0,9	1,0
530°С и более	0,6	0,7
Углеродистая, низколегированная конструкционная и теплоустойчивая хромомолибденовая	0,9	1,0

Примечание. При расчетной температуре от 510 до 530°С значение коэффициента прочности сварного соединения определяется линейным интерполированием указанных значений коэффициента прочности.

Таблица 10

Расчетная температура, °С	Коэффициент прочности φ_b	
	Расчетный ресурс, ч	
	10^5	$2 \cdot 10^5$
540	0,75	0,65
560	0,55	0,44
570	0,45	0,35

Примечание. Повышение надежности сварных стыков должно осуществляться путем проведения конструктивных мероприятий, обеспечивающих повышение гибкости труб в районе стыка или увеличение сечения комбинированного стыка при условии его расположения в необогреваемой зоне.

4.12. Для устранения опасности хрупких разрушений при гидравлических испытаниях сосудов, изготовленных из низколегированных конструкционных и теплоустойчивых сталей с временным сопротивлением свыше 600 МПа, следует проводить их расчет на

сопротивление хрупкому разрушению в соответствии с нормами расчета на прочность элементов атомных электростанций (АЭС).

4.13. Для накопления данных о влиянии дефектов на работоспособность особо ответственных сварных конструкций типа толстостенных сосудов рекомендуется проводить расчет критического размера дефектов с использованием результатов испытаний больших образцов с трещинами и аппарата линейной механики разрушений.

4.14. При оценке прочности компенсирующих элементов (спиральных, волнистых и шаровых компенсаторов), опорных элементов корпусных конструкций, патрубков большого диаметра в толстостенных сосудах и сварных соединений с частичным проплавлением рекомендуется проводить их расчет на циклическую прочность в соответствии с нормами расчета на прочность элементов АЭС.

4.15. При проектировании сварных соединений с развитой неоднородностью свойств необходимо учитывать следующие положения.

Для конструкций, работающих при температурах ниже указанных в табл. 11, при прочности металла шва ниже прочности основного металла не более чем на 20—25% равнопрочность сварного соединения с основным металлом ($\varphi_w = 1{,}0$) может быть обеспечена в необходимых случаях путем уменьшения относительной ширины разделки h/S до значений не более 0,5. При большем различии свойств металла шва и основного металла сужать разделку до значений h/S менее 0,25 не рекомендуется, так как при этом увеличивается опасность хрупких разрушений по шву.

Таблица 11

Класс стали	Максимальная температура эксплуатации, °С		
	Длительности эксплуатации, ч		
	10^4	10^5	$2 \cdot 10^5$
Низколегированная марганцовистая	450	425	415
Теплоустойчивая хромомолибденованадиевая	540	510	500

Для конструкций, работающих в области температур выше указанных в табл. 11, прочность сварного соединения следует обеспечивать равной прочности металла шва независимо от относительной ширины разделки.

При оценке несущей способности сварных соединений, работающих в области температур ниже указанных в табл. 11, разупрочнение в зоне термического влияния (ЗТВ) можно не учитывать, если толщина элементов, соединяемых дуговой сваркой,

больше 25 мм. При меньших толщинах разупрочнение в ЗТВ снижает несущую способность сварного соединения и уменьшение степени разупрочнения может быть достигнуто снижением погонной энергии сварки.

В области температур бо́льших, чем указаны в табл. 11, разупрочнение в ЗТВ снижает несущую способность сварных соединений независимо от толщины стенки. Снижение прочности учитывается коэффициентом прочности φ_w согласно п. 4.4. Для повышения надежности сварных соединений, имеющих участок разупрочнения в ЗТВ, рекомендуется ограничивать верхний уровень прочности основного металла.

При необходимости обеспечения равнопрочности сварных соединений термоупрочненных сталей основному металлу в области температур выше значений, указанных в табл. 11, сварные соединения должны подвергаться полной термической обработке (нормализации и отпуску), которая устраняет разупрочненный участок ЗТВ. При этом, однако, присадочный материал должен обеспечивать необходимый уровень свойств металла шва после такой термической обработки.

4.16. При расчете комбинированных сварных конструкций из разнородных материалов:

для соединений, работающих при высоких температурах и изготовленных из разнородных сталей одного структурного класса в любом сочетании, расчет узлов, в которых отдельные элементы деформируются независимо друг от друга (как, например, для стыка труб), необходимо производить по существующим нормам для конструкций, изготовленных из однородной менее прочной стали; для узлов, изготовленных из указанного сочетания, в котором по условию нагружения элементы работают совместно (как, например, в двутавровой балке со стенкой и полками, изготовленными из сталей разной прочности), расчет целесообразно вести по предельному состоянию, определяемому величиной нормативного сопротивления для более прочной стали;

для ответственных соединений из сталей разных структурных классов (например, перлитной стали с аустенитной), работающих при температуре до 400°С и при отсутствии ползучести, следует производить дополнительный расчет на циклическую прочность согласно нормам расчета на прочность элементов АЭС;

для ответственных соединений из сталей разных структурных классов, работающих при температуре свыше 400°С и воздействии ползучести, следует оценивать возможность накапливания пластических деформаций в процессе пусков и остановов изделия; при расчете данных сварных соединений следует руководствоваться пп. 4.11 и 5.3.

4.17. Для сварных соединений, работающих в условиях малоцикловой усталости и ползучести, следует производить поверочный расчет по методу, изложенному в РТМ 108.031.105—77.

4.18. Для особо точных конструкций (например, сварных роторов и диафрагм), а также узлов, рассчитываемых на устойчивость, в применяемых расчетах прочности должна учитываться вероятность искажения формы сварных соединений и узлов.

5. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

5.1. Общие требования к проектированию и выполнению сварных соединений

5.1.1. При проектировании и изготовлении сварных конструкций следует использовать широкие возможности получения любых конструктивных форм изделия без каких-либо промежуточных соединительных элементов, использования заготовок, выполненных с применением наиболее рациональных методов их формообразования, а также применения в одном узле различных материалов, свойства которых максимально отвечают требованиям, предъявляемым условиями работы отдельных элементов и деталей конструкций. Вместе с тем должны учитываться и следующие особенности сварных конструкций:

монолитность и жесткость соединяемых элементов в отличие от клепаных и болтовых соединений;

неоднородность химических, структурных и механических свойств отдельных зон сварного соединения, что сможет отрицательно сказаться на работоспособности изделия;

поле остаточных напряжений в сварных узлах, не подвергавшихся термической обработке после сварки;

искажение при сварке проектных форм и размеров.

5.1.2. Сварные соединения не должны иметь резких изменений сечения, вызывающих концентрацию напряжений. Необходимо, по возможности, использовать соединение с полным проваром свариваемых элементов. Не рекомендуется усиление стыковых швов накладками. В ответственных конструкциях не допускается при сварке основных элементов применение прерывистых швов. Прерывистые швы не рекомендуются также и при приварке дополнительных деталей к основным элементам.

5.1.3. Сварные соединения котлов и трубопроводов должны производиться с учетом требований ГОСТ 24663—81.

5.1.4. Следует избегать установки большого числа приваренных второстепенных элементов, вызывающих концентрацию напряжений в основных элементах. При присоединении к основному элементу дополнительных деталей (кронштейнов, подвесок и др.) следует обеспечивать плавность перехода сечения в месте соединения, особенно в направлении действия максимальных напряжений.

5.1.5. Сварные элементы должны быть по возможности симметричными и составляться из минимального числа деталей с тем, чтобы число соединительных швов было наименьшим. При этом

количество стыков в растянутых элементах должно быть минимальным, а сами стыки по возможности должны располагаться в зонах с наименьшими напряжениями изгиба.

5.1.6. Допускается приварка к конструкции временных деталей крепежа при условии последующего удаления сварных швов и участков ЗТВ.

5.1.7. Выбор рационального вида формообразования заготовок сварных конструкций должен производиться на основе анализа технико-экономических вариантов исполнения с учетом возможности получения требуемого качества заготовок, использования высокопроизводительных способов сварки, обеспечения высокой технологичности изделия, удобства его контроля и гарантии эксплуатационной надежности. Необходимо учитывать при этом перспективность использования комбинированных сварных конструкций, изготовленных из заготовок, выполненных по различным технологиям и из разных материалов в соответствии с условиями работы отдельных участков.

5.1.8. Узлы сложной конфигурации типа корпусов турбин и арматуры при толщине стенок свыше 30 мм целесообразно выполнять либо цельнолитыми, либо сварными из отливок в сочетании с трубами, поковками или прокатом. Использование для этой цели поковок рационально при отсутствии литья с необходимым уровнем свойств. В местах присоединения трубопроводов к корпусам должны предусматриваться приливы (воротники) длиной не менее 150 мм, обеспечивающие качественное выполнение кольцевого стыка, возможность его местной термической обработки и контроля УЗД или проникающим излучением.

5.1.9. При проектировании узлов сложной конфигурации типа цилиндров турбин и арматуры с толщиной стенок менее 30 мм в случае замены крупных отливок сварными конструкциями целесообразно разрабатывать варианты, в которых заготовки из отливок сочетаются с деталями из листового и сортового проката или со штампованными и гнутыми элементами. В этом случае рекомендуется применять:

сварные конструкции из листового проката для элементов с прямыми стенками постоянного сечения толщиной до 30 мм или гнутыми стенками такого же сечения с радиусом кривизны больше чем десять толщин;

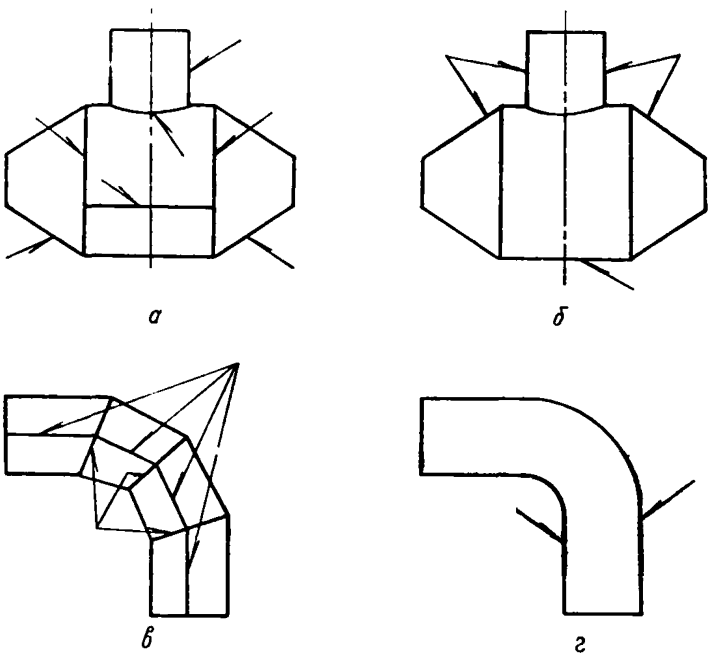
сварные конструкции, состоящие из литых заготовок и листового проката, при сочетании в конструкции стенок постоянного сечения толщиной до 30 мм со сложными фасонными профилями переменного сечения.

5.1.10. Для элементов сложной конфигурации с толщиной стенки менее 30 мм (тройников, корпусов арматуры, колен и им подобных) при крупносерийном или массовом производстве целесообразным является их изготовление из штампованных заготовок.

В целях уменьшения количества соединительных швов, удобства их выполнения и большей надежности контроля следует по

возможности осуществлять замену сварных элементов типа тройников и секторных колен из труб или листа (черт. 1, *а, в*) на сварные из штампованных заготовок (черт. 1, *б, г*); при изготовлении тройников для труб большого диаметра рекомендуется исполнение их из штампованных полушарий с приварными ответвлениями из труб (шаровое исполнение).

Типы сварных конструкций тройников и колен



а, б — тройники; *в, г* — колена

Черт. 1

В целях повышения качества сварного соединения, надежности его контроля, а также эксплуатационной надежности коллекторов котлов и тройников из труб, изготавливаемых из теплоустойчивых хромомолибденованадиевых и жаропрочных сталей и работающих в условиях ползучести, рекомендуется высадка горловин.

Секторные отводы допускается изготавливать из спиральношовных труб при условии, если свойства материала и качество изготовления спиральношовных труб не уступают прямошовным трубам.

5.2. Учет требований монтажа при проектировании сварных соединений

5.2.1. Сварные конструкции должны проектироваться с учетом выполнения максимального объема сварочных работ на предприятии и максимальной технологичности узлов в блочном исполнении.

5.2.2. Основным типом сварных соединений на монтаже являются стыковые соединения, расположение которых должно обеспечивать удобство сварки, надежность ее выполнения, а также качественное выполнение местной термической обработки принятыми методами.

5.2.3. При монтаже не рекомендуется изготовление ответственных сварных соединений из разнородных сталей разных структурных классов (низкоуглеродистых, низколегированных конструкционных и теплоустойчивых сталей с высокохромистыми и аустенитными жаропрочными сталями), а также из одного структурного класса, заметно отличающихся по уровню легирования. Допускается без ограничения сварка на монтаже разнородных сталей близкого легирования (например, марок 20 и Ст3, 20 и 15ГС, 12ХМ и 15ХМ, 12Х1МФ и 15Х1М1Ф, 12Х18Н10Т и 12Х18Н12Т).

5.2.4. При монтаже не рекомендуется приварка труб и других элементов к литым деталям и поковкам типа корпусов арматуры и турбин. С этой целью на заводе-изготовителе к отводам на корпусах рекомендуется приваривать патрубки из катаных или кованых труб, длина которых выбирается с учетом надежности выполнения местной термической обработки и ультразвукового контроля. В соответствии с правилами ГГТН СССР по условию надежности местной термической обработки длина должна быть не менее величины, определяемой по формуле

$$l = 1{,}5\sqrt{(D_н - S_н)\,S_н},$$

где l — длина патрубка, мм; $D_н$ — номинальный наружный диаметр патрубка, мм; $S_н$ — номинальная толщина стенки патрубка, мм.

По условию надежности результатов ультразвукового контроля длина патрубка l должна быть не менее величин, приведенных в табл. 12.

Таблица 12

Номинальная толщина стенки патрубка $S_н$, мм	Минимальная длина патрубка l, мм
До 15	100
Св. 15 до 30	$5S_н+25$
Св. 30 до 36	175
Св. 36	$4S_н+30$

Длина приварных патрубков должна назначаться по максимальному из двух значений l, полученных по формуле и из табл. 12.

5.3. Требования к проектированию комбинированных сварных конструкций

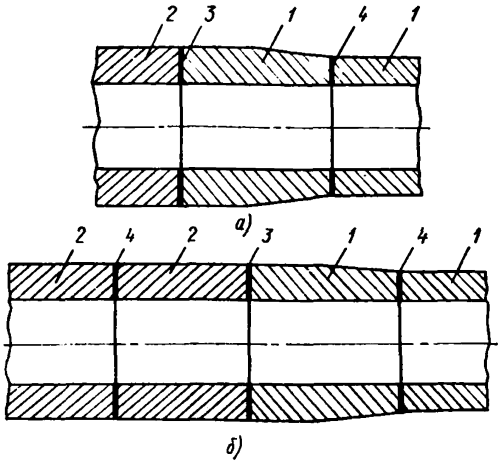
5.3.1. При проектировании ответственных комбинированных сварных конструкций из перлитных сталей в сочетании с высокохромистыми и аустенитными, работающих при температуре более

400°С, а также при необходимости соединения отдельных узлов из указанного сочетания классов стали рекомендуется:

располагать комбинированные соединения в зонах пониженных температур, например на необогреваемых участках поверхностей нагрева котлов;

применять, как правило, стыковые сварные соединения; угловые соединения могут быть допущены только в малоответственных узлах при толщине свариваемых элементов до 10 мм;

Типы стыков труб из разнородных сталей



1 — жаропрочная сталь; *2* — теплоустойчивая или конструкционная сталь; *3* — комбинированный стык; *4* — однородный стык

Черт. 2

применять при стыковке труб с разной толщиной стенок переходную вставку из жаропрочной стали той же марки (рис. 2, *а*); использовать комбинированные переходники, предварительно свариваемые и протачиваемые после сварки снаружи и изнутри (рис. 2, *б*);

размещать комбинированный стык вблизи жесткого элемента (например, корпуса арматуры и т. п.) на расстоянии *l* в соответствии с требованиями п. 5.2.4;

вводить облицовку обеих свариваемых кромок или одной из них по типам, указанным в ОП 1513—72, с использованием сварочных материалов, приведенных в табл. 7 и 8; облицовка производится при сварке закаливающихся сталей перлитного или мартенситного классов с аустенитной или низкоуглеродистой сталью: при сварке

сталей, значительно отличающихся друг от друга по температуре отпуска сварных соединений; при сварке низкоуглеродистой стали с аустенитной, если толщина свариваемых элементов превышает 40 мм.

5.4. Требования к выбору типов сварных соединений

5.4.1. Конструктивные формы сварных соединений, элементов и узлов сварных конструкций должны выбираться с одновременным соблюдением требований к прочности. При выборе оптимальных разделок кромок следует отдавать предпочтение разделкам с минимальным объемом наплавленного металла.

5.4.2. При выборе типов разделки кромок следует руководствоваться следующими нормативными материалами:

для сварных соединений, выполненных ручной дуговой сваркой, — ГОСТ 5264—80;

для сварных соединений, выполненных автоматической сваркой под флюсом, — ГОСТ 8713—79;

для сварных соединений, выполненных в среде защитных газов, — ГОСТ 14771—76;

для сварных соединений, выполненных электрошлаковой сваркой, — ГОСТ 15164—78;

для сварных соединений стальных трубопроводов — ГОСТ 16037—80;

для стыков, выполняемых контактной сваркой, — ГОСТ 15873—80;

для сварных соединений под острыми и тупыми углами — ГОСТ 11533—75, ГОСТ 11534—75;

для сварных соединений трубопроводов и тройников тепловых электростанций — ОСТ 108.030.129—79;

для сварных соединений сосудов из сталей повышенной прочности — РТМ 26.27—70.

Сварные швы, которые невозможно выполнить по вышеперечисленным нормативным документам, должны иметь все необходимые размеры на выносных сечениях.

5.4.3. Способ подготовки кромок выбирается в зависимости от ответственности и точности изготовления конструкции, способа сварки и марки материалов.

5.5. Требования к выбору способов и технологии сварки стыковых соединений труб поверхностей нагрева

5.5.1. Для стыков труб с малым отношением толщины стенки к наружному диаметру следует использовать в качестве основного способа аргонодуговую сварку или комбинированный метод сварки взамен контактной (п. 3.2.1).

5.5.2. Комбинированные стыки труб поверхностей нагрева из сталей 12Х1МФ и 12Х18Н10Т следует выполнять с учетом требований п. 5.3 в части увеличения толщины стенки.

5.5.3. Для труб из теплоустойчивых и жаропрочных сталей (12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т и 12Х1МФ) рекомендуются способы крепления без приварки ранжирующих элементов к трубам. В тех слу-

чаях, когда нельзя избежать приварки этих элементов к трубам, к качеству сварки креплений должны применяться те же требования, что и к качеству сварки стыков труб. При приварке ранжирующих элементов рекомендуются (особенно для труб из стали 12Х18Н12Т и 12Х18Н10Т) защита поверхности труб от сварочных брызг, удаление концентраторов напряжений путем зачистки до плавного сопряжения шва с основным металлом и термическая обработка после сварки. Это повышает стойкость сварных соединений против разрушений под действием циклических напряжений, обусловленных различием температур в жестко связанных между собой трубах.

5.5.4. Присоединение труб поверхностей нагрева к коллекторам может осуществляться с помощью штуцеров и путем бесштуцерной приварки. Сварка должна проводиться не менее чем в два слоя. Допускается однослойная приварка труб из низкоуглеродистой стали к коллекторам и барабанам котлов с рабочим давлением до 3,9 МПа. Рекомендуется сварное соединение теплоустойчивых сталей выполнять с полным проплавлением стенки штуцера (трубы). Для котельных агрегатов с абсолютным рабочим давлением до 5,0 МПа и температурой рабочей среды до 500°С допускается бесштуцерная приварка труб к коллекторам и выполнение при необходимости общей термической обработки блоков.

Угол между поверхностью шва и образующей штуцера, трубы или гнутого отвода (ножки) рекомендуется выбирать не менее 135°. Толщину стенки штуцера и ножек из теплоустойчивых и жаропрочных сталей рекомендуется применять на 20—30% больше толщины стенки труб поверхностей нагрева (например, для труб поверхностей нагрева 32×6 мм применять штуцера из труб 36×8 или 42×11 мм).

5.5.5. При бесштуцерной приварке для труб из теплоустойчивых и жаропрочных сталей в качестве предпочтительного варианта рекомендуется применять изготовление блоков поверхностей нагрева с предварительно приваренными гнутыми отводами (ножками).

При бесштуцерной приварке должны предусматриваться:

свободный доступ к сварным стыкам, обеспечивающий качественное выполнение сварки;

выполнение (при необходимости) термической обработки в печах, индукционным нагревом или другими методами, обеспечивающими надежность ее проведения и тщательный контроль равномерности нагрева (применение нагрева с помощью газовых горелок не рекомендуется);

выполнение соединений с обеспечением надежного контроля.

5.6. Требования к проектированию сварных газоплотных панелей

5.6.1. При проектировании газоплотных панелей котлов необходимо учитывать, что оптимальными по экономическим соображениям являются использование гладких труб с вварной проста-

кой между ними и предварительная приварка плавников к гладким трубам с помощью ТВЧ; использование плавниковых труб менее выгодно.

Основные швы панелей (продольные) должны выполняться автоматической сваркой под флюсом на специальных стендах; ручную дуговую сварку следует применять лишь при вварке вспомогательной гарнитуры и в условиях монтажа.

При сварке панелей из труб с толщиной стенки 3—4 мм рекомендуется применять сварку в защитных газах.

5.6.2. Наращивание наружных плавников крайних труб панелей путем приварки к ним дополнительных планок не допускается.

5.6.3. На наиболее теплонапряженных участках рекомендуется производить обрезку механическим способом плавников крайних труб панелей и труб, обрамляющих лючки.

5.7. Требования к проектированию стыков трубопроводов в зависимости от легирования основного металла

5.7.1. Стыки трубопроводов из низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей, а также теплоустойчивых хромомолибденовых сталей марок 12МХ и 15ХМ могут свариваться всеми существующими видами сварки плавлением при отсутствии дополнительных требований к зачистке швов до плавного сопряжения с основным металлом и предельной прочности труб перед сваркой.

5.7.2. При проектировании и изготовлении сварных стыков трубопроводов из стали марки 12Х2М1, хромомолибденованадиевой, жаропрочной высокохромистой и аустенитной стали рекомендуются следующие дополнительные мероприятия, обусловливающие снижение вероятности локальных разрушений стыков и повышение их эксплуатационной надежности:

широкое применение прогрессивной технологии — аргонодуговой сварки корневого шва с полным проплавлением и заполнением основной разделки способами автоматической дуговой сварки для стыков труб с толщиной стенки свыше 30 мм; внедрение метода электронно-лучевой сварки, обеспечивающей высокую производительность процесса и эксплуатационную надежность стыков;

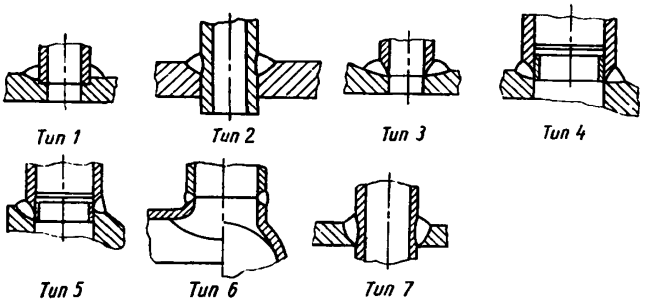
введение операции обработки наружной поверхности швов до плавного сопряжения с основным металлом для сварных стыков трубопроводов из стали марок 12Х2М1, 12Х1МФ и 15Х1М1Ф при толщине стенки труб свыше 30 мм, для трубопроводов из высокохромистой и аустенитной стали при толщине свыше 20 мм; при расположении сварных стыков в зоне действия высоких напряжений изгиба (сварные соединения тройников, стыки присоединения корпусов арматуры и цилиндров) эта операция производится при толщине стенки труб из стали марок 12Х2М1, 12Х1МФ и 15Х1М1Ф свыше 20 мм, а из высокохромистой и аустенитной стали свыше 10 мм;

введение ограничения верхнего уровня прочности труб из хромомолибденованадиевой и высокохромистой стали до сварки при толщине стенки свыше 20 мм согласно требованиям табл. 4.

5.7.3. В трубопроводах, свариваемых в прямые плети и подвергаемых последующей гибке, необходимо учитывать возможность снижения надежности стыков, расположенных вблизи участков гиба. Для повышения их надежности рекомендуется вводить обязательную термическую обработку стыков после гибки.

5.7.4. Угловые соединения элементов креплений (опор, прокладок, упоров и пр.) с толстостенными паропроводами и коллекторами по условиям проведения термической обработки и зачистки

Типы штуцерных и тройниковых соединений камер котлов, барабанов и трубопроводов



Черт. 3

сварных соединений должны приравниваться к стыковым соединениям указанных труб, если объем наплавленного металла превышает 10 см^3.

5.7.5. При проектировании трубопроводов большого диаметра из теплоустойчивых сталей для паросиловых блоков большой мощности рекомендуется учитывать возможности применения центробежнолитых труб и труб с продольным швом.

При использовании центробежнолитых труб следует применять те же разделки, способы и технологические режимы сварки, что и для катаных и кованых труб из той же марки стали.

При использовании труб с продольным швом при толщине стенки свыше 30 мм рекомендуется применять электрошлаковую сварку.

5.8. Требования к проектированию штуцерных и тройниковых соединений котлов и трубопроводов

5.8.1. Соединения типов 1 и 2 (черт. 3) рекомендуется использовать при толщине стенки присоединяемых труб (штуцеров) до 10 мм с применением ручной дуговой сварки для систем низкого и среднего давления и до 15 мм с применением автоматической

сварки под флюсом. Соединение типа 3 рекомендуется использовать при толщине стенки до 10 мм преимущественно для систем высокого давления. Допустимость соединений типов 1 и 3 должна быть согласована с требованиями ГОСТ 24663—81.

5.8.2. Соединения с подкладными кольцами (см. черт. 3) типы 4 и 5 применяются преимущественно для систем высокого давления. Для труб из хромомолибденованадиевых и аустенитных сталей подкладные кольца после сварки должны удаляться. Рекомендуется также для этих типов соединений выполнение корневого шва в защитных газах без подкладного кольца. Для повышения надежности сварных тройников из теплоустойчивых хромомолибденованадиевых, жаропрочных высокохромистых и аустенитных сталей рекомендуется увеличивать радиусный переход в районе сварного стыка штуцера с трубой.

5.8.3. Наиболее технологичным по условиям сварки является соединение типа 6 с высадкой стенки трубы (см. черт. 3). При его использовании обеспечивается наиболее высокое качество сварочных работ и надежный контроль соединения.

5.8.4. При осуществлении конструкции штуцерного соединения большого диаметра с пропуском через стенку сосуда по типу 7 к соединению предъявляются наиболее высокие требования. Указанный тип соединения применим при наличии доступа к внутренней поверхности с целью удаления и заварки корня шва. Рекомендуется зачистка наружной и внутренней поверхности швов до плавного сопряжения с основным металлом.

5.9. Требования к проектированию и изготовлению сосудов и теплообменных аппаратов

5.9.1. При проектировании и изготовлении сосудов, работающих под давлением, общие технические требования определяются ОСТ 26.291—79, способы сварки рекомендуется выбирать согласно табл. 5, а термическую обработку назначать согласно разделу 7.

5.9.2. В барабанах котлов и сосудах, работающих под давлением при температуре выше 300°С, при толщине обечаек свыше 40 мм не рекомендуется обварка штуцеров одновременно по наружной и внутренней поверхностям и использование накладок (черт. 4, *а*, *в*). Рекомендуемые типы соединения штуцеров с барабанами даны на черт. 4, *б*, *г*, *д*.

5.9.3. Для сосудов, работающих в условиях воздействия коррозионных сред, наряду с применением нержавеющих сталей рекомендуется использование двухслойного проката.

5.9.4. При проектировании и изготовлении теплообменных аппаратов необходимо учитывать следующие рекомендации Международного института сварки:

производить приварку труб к трубным доскам способами автоматической аргонодуговой сварки при толщине стенки труб менее 2 мм и автоматической сварки под флюсом при больших толщинах;

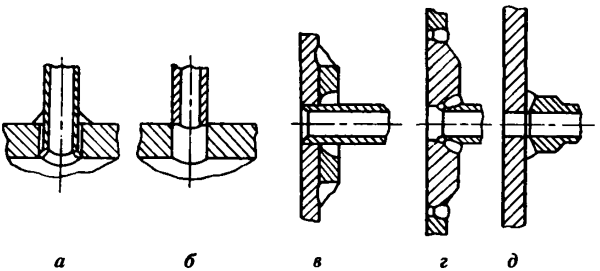
применять в особо ответственных конструкциях высокопроизводительную технологию вальцовки труб взрывом с предварительной автоматической обваркой с целью устранения вредного влияния вибрации труб;

применять в ограниченных масштабах ручную дуговую обварку труб.

5.10. Требования к проектированию сварных узлов турбин

5.10.1. При проектировании корпусов турбин и арматуры следует учитывать требования к формообразованию их заготовок и сочетанию в одном корпусе по температурным условиям работы сталей разного легирования (например, низкоуглеродистой стали с хромомолибденовой) и к выбору способов сварки.

Типы сварных соединений штуцеров и усилений отверстий сосудов, работающих при высоких температурах



Черт. 4

При исправлении дефектов в отливках корпусов цилиндров из теплоустойчивых сталей на заводе-изготовителе в качестве основного метода рекомендуется заварка электродами однотипного состава с последующей термической обработкой. При исправлении указанных дефектов на электростанциях рекомендуется их заварка высоконикелевыми электродами без последующей термической обработки в соответствии с РТМ 108.020.05—75.

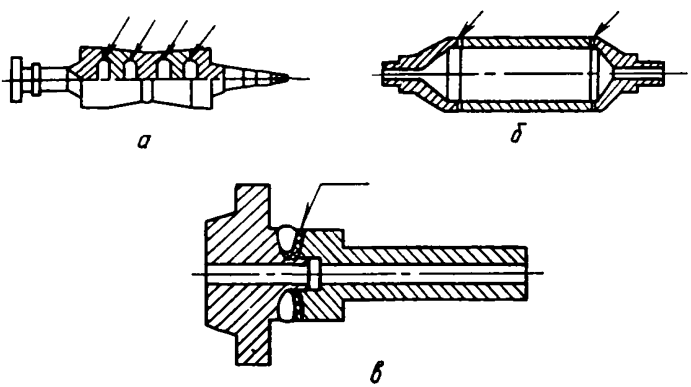
5.10.2. При проектировании сварных диафрагм рекомендуется во избежание чрезмерных сварочных деформаций выдерживать высоту основных сварных швов, соединяющих решетку с телом и ободом, в пределах 0,15—0,25 толщины тела или обода.

Наиболее высокую точность сварных диафрагм (на порядок больше, чем при принятых способах) обеспечивает электронно-лучевая сварка. При ее использовании необходимо учитывать, что применяемая в настоящее время конструкция сварных диафрагм с бандажными лентами не пригодна и должна заменяться конструкцией из механически обработанных заготовок с высокой точностью сборки.

5.10.3. При проектировании роторов турбин и компрессоров рекомендуется рассматривать возможность изготовления их в сварном исполнении.

Изготовление роторов из отдельных поковок ограниченного развеса позволяет гарантировать высокое качество их металла при использовании методов вакуумно-дугового или электрошлакового переплава. К преимуществам сварных роторов относятся также их жесткость, меньшая напряженность роторов с дисками без отверстия, возможность изготовления в комбинированном исполнении: роторов низкого давления из конструкционной среднелегированной

Типы сварных роторов турбин и компрессоров



а — ротор паровой турбины; *б* — ротор компрессора; *в* — ротор газовой турбины

Черт. 5

стали с теплоустойчивыми сталями (например, в комбинации стали марки 25ХН2МФ со сталью марки Р2М); роторов газовых турбин и турбин специального назначения с дисками из высоколегированной стали и концевыми частями из стали перлитного класса.

5.10.4. Расположение сварных швов и их высота должны выбираться с учетом требований подраздела 4.8.

5.10.5. При выборе формы разделки для роторов паровой турбины и компрессора (черт. 5, *а* и *б*) и способа сварки особое внимание должно быть обращено на качество выполнения корневых слоев и на отсутствие в корне конструктивных концентраторов напряжения и технологических дефектов.

Рекомендуется в качестве основного способа сварки корневого слоя использование автоматической аргонодуговой сварки с присадочной проволокой без подкладного кольца. Высота корневого шва должна обеспечивать требуемую прочность ротора в процессе возможных кантовок перед заполнением основной разделки.

Расположение сварного шва должно обеспечивать надежный контроль неразрушающими методами корня шва.

Заполнение основной разделки швов должно выполняться механизированными способами сварки. Основным способом является автоматическая сварка под флюсом. При высоте шва более 50 мм должна применяться сварка в узкую разделку.

5.10.6. При необходимости обеспечения особо высоких требований к точности изготовления ротора (например, в роторах газовых турбин, свариваемых из дисков с предварительно протянутыми пазами) целесообразен переход к электронно-лучевой сварке. В этом случае требования к точности обработки заготовок под сварку резко возрастают. Эта технология проходит в настоящее время промышленное опробование.

5.10.7. В комбинированных сварных роторах (см. черт. 5, *в*) при использовании ограниченно свариваемой теплоустойчивой стали, например стали марок 12Х1М1Ф или 20Х3МВФ, рекомендуется предварительная облицовка кромок по типам, установленным в ОП 1513—72, с последующей термической обработкой и сваркой основной разделки по технологии, используемой для среднелегированных конструкционных роторных сталей.

5.10.8. Для сварных роторов газовой турбины (см. черт. 5, *в*) рекомендуется в качестве основного метода при диаметре вала до 60 мм сварка трением, а при больших диаметрах вала используется автоматическая дуговая сварка.

6. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

6.1. Требования к выбору метода испытаний и условий их проведения

6.1.1. Испытания сварных соединений подразделяются на следующие:

приемочные, целью которых является контроль качества изготовления сварных соединений по действующей производственной технологии;

исследовательские, целью которых является оценка и аттестация технологической свариваемости и оценка работоспособности сварных соединений, выполненных из новых материалов, по новой технологии или поставленных в новые условия эксплуатации.

6.1.2. Приемочные испытания для оценки качества изготовления сварных соединений паровых котлов, сосудов и трубопроводов проводятся в соответствии с правилами ГГТН СССР, ОСТ 108.940.103—87 и инструкциями предприятия-изготовителя.

6.1.3. Испытания сварных соединений должны отвечать следующим требованиям:

испытания должны производиться в условиях, соответствующих условиям эксплуатации, с учетом изготовления, монтажа, гидравлических испытаний и ремонта конструкций;

методы лабораторных испытаний должны воспроизводить возможный характер разрушения в условиях эксплуатации;

испытания следует проводить с учетом возможных в производстве отклонений от оптимальных параметров технологического процесса изготовления конструкций и условий их эксплуатации;

материалы образцов для испытания и технологический процесс их сварки должны соответствовать применяемым в реальных конструкциях.

6.1.4. Сварные соединения, работающие в температурно-временной области отсутствия ползучести, должны подвергаться кратковременным механическим испытаниям при нормальной и рабочих температурах, оценке склонности к хрупким разрушениям при низких и умеренных температурах, а также (при необходимости) оценке стабильности структуры и свойств в процессе длительной эксплуатации при рабочих температурах. Сварные соединения испытываются в том термическом состоянии, в котором они должны находиться при эксплуатации.

6.1.5. Для оценки работоспособности конструкций, подвергающихся воздействию циклических нагружений, например сварных роторов, сварные соединения должны испытываться на усталостную прочность. При возможном воздействии в процессе работы агрессивной среды должна определяться коррозионная стойкость сварных соединений.

6.1.6. Для оценки прочностных характеристик сварных соединений и металла шва по ГОСТ 6996—66 проводятся стандартные кратковременные испытания на растяжение при комнатной и рабочей температурах, а также в интервале промежуточных температур, в котором возможно охрупчивание (например, при температурах деформационного старения для низкоуглеродистых и низколегированных сталей). При испытании сварных соединений с поперечным швом необходимо учитывать действие фактора механической неоднородности сварных соединений. Для оценки прочности сварных соединений с ярко выраженной механической неоднородностью («мягкий» шов, разупрочнение в ЗТВ) следует применять при испытаниях образцы, диаметр которых сопоставим с толщиной свариваемых элементов.

Для расчетных сварных соединений уровень прочностных свойств испытанных образцов должен быть не ниже прочности основного металла или уровня прочности, допускаемого ОСТ 108.031.02—75 «Котлы стационарные паровые и водогрейные и трубопроводы пара и горячей воды. Нормы расчета на прочность» с учетом коэффициента ослабления.

6.2. Оценка технологической свариваемости

6.2.1. Проведению исследовательских испытаний для оценки работоспособности сварных соединений должна предшествовать оценка свариваемости материала с целью получения данных о степени изменения свойств материала под действием сварки и определения технологической прочности сварного соединения.

6.2.2. При оценке свариваемости, в первую очередь, определяется степень изменения структуры и свойств различных участков

сварного соединения в зависимости от режима сварки. Для этого рекомендуется валиковая проба по ГОСТ 13585—68, а также испытания, предусмотренные ГОСТ 6996—66 для сварных соединений в целом и различных их участков.

6.2.3. Предварительная ориентировочная оценка стойкости против образования при сварке горячих и холодных трещин может производиться косвенными (расчетными) методами.

Стойкость против образования при сварке горячих и холодных трещин, а также стойкость против задержанного разрушения оценивается по результатам испытаний технологических проб и испытаний машинными методами (ГОСТ 26388—84 и ГОСТ 26389—84).

6.2.4. Выбор типа проб для оценки свариваемости должен производиться с учетом конструкции изделия. Для изготовления проб из сталей перлитного и мартенситного классов, в том числе и теплоустойчивых, рекомендуется использовать металл, имеющий эквивалентное содержание углерода $C_{экв}$ и уровень прочности свойств на верхнем пределе, допускаемом соответствующими техническими условиями. Состав с величиной $C_{экв}$ на верхнем пределе следует использовать и при расчетной оценке стойкости против образования холодных трещин. Пробы из аустенитной стали рекомендуется изготавливать из металла с минимальным содержанием α-фазы по соответствующим нормативным материалам.

6.2.5. По результатам оценки испытаний на склонность к горячим трещинам машинными методами следует выбирать стали и сварочные материалы с минимальным диапазоном температурного интервала хрупкости (ТИХ) и минимальной величиной критической скорости деформации в этом интервале температур $v_{кр}$.

6.2.6. По результатам оценки машинными методами склонности сварных соединений к холодным трещинам и задержанному разрушению необходимо, в первую очередь, использовать стали и сварочные материалы, обеспечивающие более высокие значения минимальных разрушающих напряжений.

6.2.7. При оценке склонности к образованию трещин при термообработке диапазон скоростей нагрева и охлаждения, температур и времени выдержки должен выбираться с учетом возможных в практике отклонений от оптимальных значений этих параметров. Следует учитывать, что при отпуске сварных соединений теплоустойчивых сталей перлитного класса отклонения температур отпуска от оптимальных значений достигают 30—50°С. Склонность к образованию трещин при термообработке, как правило, в наибольшей степени проявляется при сварке с низкими значениями температуры подогрева и величины погонной энергии.

6.3. Оценка склонности к хрупким разрушениям при нормальной температуре

6.3.1. При оценке склонности сварных конструкций к разрушению при нормальных температурах необходимо учитывать, что наиболее вероятными участками образования и развития трещин могут быть шов, околошовная зона и зона деформационного ста-

рения. Развитию хрупкости этих зон могут способствовать нарушения режима сварки и последующей термической обработки или процесс высокотемпературного старения при эксплуатации, что приводит к хрупкости при нормальной температуре.

6.3.2. Оценка работоспособности конструкции может производиться с использованием параметров, характеризующих стадии зарождения или развития трещин. Выбор стадии, по которой должна производиться оценка работоспособности конструкции, определяется, главным образом, типом конструкции и предельными состояниями в допустимых условиях эксплуатации.

Для сварных узлов из конструкционных сталей низкой и средней прочности следует применять методы испытаний, оценивающие вторую стадию разрушения, и использовать в качестве основного критерия переходную температуру хрупкости.

Для особо ответственных конструкций из сталей средней и высокой прочности, в которых по условиям эксплуатации недопустимы нарушения сплошности, при оценке их работоспособности следует базироваться на параметрах, характеризующих первую стадию разрушения с использованием критериев механики разрушения.

6.3.3. Для приближенной оценки нижней безопасной температуры испытания и эксплуатации конструкций должны использоваться результаты сериальных испытаний на ударный изгиб образцов типов VI и IX по ГОСТ 6996—66 с надрезом в различных участках сварного соединения. Предпочтительным является использование образца типа IX, а в качестве критерия — степень волокнистости излома (50%).

6.3.4. Для более точного определения переходных температур хрупкости следует применять испытания:

на ударный и статический изгиб крупных образцов с предельно острым концентратором напряжений типа усталостной трещины в различных участках сварного соединения и в основном металле;

на статическое или динамическое нагружение образцов для определения критериев механики разрушения K_{1c}, K_{1d}, δ_c, I_c-интеграл;

на растяжение, ударный изгиб или взрывное выпучивание образцов с хрупкой наплавкой, прессованным надрезом или резко охлажденным надрезом в растянутой части образца (метод падающего груза и испытание на подрыв), а также листовых материалов на остановку трещины при растяжении (по Робертсону);

на растяжение широких пластин и разгонные испытания дисков с искусственным или естественными концентраторами напряжений; в зависимости от принятого метода испытаний значение переходной температуры определяется по условию зарождения или развития трещины.

6.4. Оценка жаропрочности сварных соединений при высоких температурах

6.4.1. Для сварных соединений, работающих в температурно-временной области ползучести, кроме обеспечения требуемого

уровня кратковременных механических свойств при температурах эксплуатации и стойкости против хрупких разрушений при низкой и умеренной температурах, обязательным является определение комплекса свойств, характеризуемых общим понятием жаропрочности.

В комплекс основных характеристик жаропрочности сварных соединений, как и для основного металла, входят: сопротивление ползучести, длительная прочность, стойкость против хрупких разрушений и развития трещин и трещиноподобных дефектов при высоких температурах, стабильность структуры и свойств, релаксационная стойкость.

При особых условиях работы конструкций необходимо определять дополнительные характеристики: усталостную прочность, жаростойкость и др.

6.4.2. Испытание на ползучесть проводится на однородных образцах только для металла шва. Сопротивление ползучести для сварных соединений в целом не определяется, так как деформация в сварном соединении распределяется неравномерно. Испытание на ползучесть металла шва рекомендуется для предварительного выбора оптимальной композиции шва (либо технологического режима сварки или термообработки) при большом количестве исходных вариантов.

6.4.3. Длительная прочность является основной характеристикой жаропрочности сварных соединений. Ее определение позволяет установить необходимый для расчета конструкции коэффициент прочности сварных соединений по сравнению с основным металлом.

Из-за многообразия структур различных участков сварного соединения и малой ширины большинства этих участков прямое определение длительной прочности возможно только для одного, наиболее протяженного участка соединения — металла шва. О длительной прочности других участков сварного соединения можно косвенно судить по результатам испытаний соединения в целом или испытаний однородных образцов, в которых путем специальной термообработки моделируется структура того или иного участка сварного соединения.

Сложность оценки жаропрочных свойств металла шва или сварного соединения состоит в том, что при относительно малом рабочем сечении образцов в них не отражается полностью общая картина структурной неоднородности металла в зоне сварки. Это приводит к значительному разбросу результатов испытаний, в связи с чем для надежного определения длительной прочности сварных соединений на стандартных образцах требуется гораздо большее количество образцов, чем при испытаниях основного металла.

Более представительными являются стендовые испытания моделей сварных узлов под внутренним давлением, а также испытания на растяжение крупных сварных образцов с рабочим сечением не менее 600 мм^2.

6.4.4. При проведении испытаний на длительную прочность рекомендуется руководствоваться следующими положениями.

Испытания на длительную прочность при растяжении металла шва и сварных соединений с поперечным швом следует проводить в соответствии с требованиями ГОСТ 10145—81 с использованием цилиндрических 5—10-кратных образцов диаметром 10 мм. Для тонколистовых сварных соединений могут использоваться плоские образцы, а для стыков труб — трубчатые образцы.

При наличии в сварном соединении резко выраженной механической неоднородности («мягкий» шов, участок разупрочнения) желательно испытывать образцы большего диаметра. Для испытаний должны применяться специальные машины с разрывным усилием 30—50 т.

Для определения длительной прочности сварных соединений конструкций энергетических установок с расчетным сроком службы до 10^3 ч длительность испытаний должна быть в пределах этого ресурса; для определения длительной прочности сварных соединений энергетических установок с расчетным сроком службы 10^5 ч, длительность испытаний должна составлять не менее 10% от этого ресурса.

Для более надежной оценки длительной прочности рекомендуется проводить испытания не только при рабочей температуре, но и при температуре на 35—50°С выше ее. В ряде случаев желательно предварительное старение образцов, предназначенных для испытаний на длительную прочность при температурах, более высоких, чем температура испытания.

6.4.5. Испытания на длительную прочность металла шва и сварных соединений должны проводиться для всех характерных структурных состояний, возможных в результате отступлений от оптимальных режимов сварки и термической обработки в условиях производства.

При обработке результатов испытаний на длительную прочность сварных соединений с поперечным швом в одну зависимость должны объединяться только случаи разрушения в одинаковых зонах сварного соединения.

Значения предела длительной прочности металла шва, определенные при испытании однородных образцов или разрушившихся по шву сварных образцов, должны учитываться при расчетной оценке прочности сварных конструкций.

6.4.6. Для оценки стойкости сварных соединений против хрупких разрушений и развития трещин при эксплуатации в условиях ползучести рекомендуется использовать две группы методик:

испытания сварных соединений в условиях релаксации напряжений, характеризующие склонность сварных соединений к хрупким разрушениям в условиях однократной (применительно к термообработке) или многократной (применительно к условиям эксплуатации) релаксации напряжений;

испытания с помощью жестких проб, являющиеся наиболее простыми и не требующими специального оборудования, а также

испытания на релаксацию гладких образцов и образцов с трещиноподобными дефектами.

Оценка склонности к образованию и росту трещин по характеристикам длительной пластичности производится путем испытаний на растяжение и изгиб с постоянной нагрузкой или постоянной скоростью деформации; испытания проводят на образцах из металла шва, сварных соединений и имитированной зоны термического влияния, получаемые при этом значения пластичности (при условии воспроизведения типа разрушения) характеризуют склонность сварных соединений к хрупким разрушениям при длительной эксплуатации под действием внешней нагрузки.

6.4.7. Оценка стабильности структуры и свойств в процессе старения необходима для установления закономерности их изменения во времени и определения возможного уровня свойств за расчетный срок службы. Старению подвергаются образцы из сварного соединения, металла шва и имитированной зоны термического влияния.

Образцы при старении должны подвергаться выдержке не только при рабочих, но и при более высоких температурах. Рекомендуется проведение старения при температурах, превышающих рабочие на 35—50°С. Это эквивалентно увеличению длительности испытаний приблизительно в 10 раз. Минимальная продолжительность выдержки при рабочей температуре должна охватывать весь расчетный период при сроке работы энергетических установок до 10^3 ч. Для энергетических установок с расчетным сроком службы 10^5 ч продолжительность выдержки при рабочей температуре должна быть не менее 10% от расчетного срока службы, при более высоких температурах продолжительность максимальной выдержки меньше и может быть определена с помощью параметрической зависимости.

Стабильность структуры и свойств в процессе длительной эксплуатации должна оцениваться по результатам испытания состаренных образцов, которые обычно включают металлографическое исследование структуры и определение твердости характерных участков сварных соединений, кратковременных механических (на растяжение и ударную вязкость) свойств сварных соединений при нормальной и рабочих температурах. Изменение свойств сварных соединений в процессе старения сопоставляется с их исходным уровнем и уровнем свойств основного металла в состаренном состоянии. При выявлении резкого снижения в процессе старения прочностных или пластических свойств необходимо проведение дополнительных испытаний для получения характеристик, определяющих работоспособность конструкции в заданных условиях эксплуатации, и прежде всего для оценки склонности сварной конструкции к хрупким разрушениям.

Для исследования структурных превращений в сварных соединениях в процессе старения должны использоваться те же методы, что и для основного металла. Задачей этого комплекса испытаний

является установление характера и механизма структурных превращений, типа образующихся фаз и кинетики их развития, а также температурного интервала, в котором идут эти процессы.

6.4.8. Для определения степени снятия остаточных напряжений при термообработке могут использоваться результаты релаксационных испытаний. Применяются две основные группы методов:

релаксационные испытания образцов основного металла при исходных напряжениях на уровне предела текучести;

определение степени снятия остаточных напряжений на моделях сварных узлов, прошедших термическую обработку и подвергнутых после этого разрезке с измерением величин деформации.

Релаксационные испытания образцов являются более перспективным методом при условии надежной корреляции получаемых с их помощью результатов испытаний моделей. Имеется, однако, ряд сварных соединений, в которых оценка степени снятия остаточных напряжений при термообработке возможна лишь с помощью моделей. К ним относятся, например, сварные соединения разнородных сталей разных структурных классов, а также изделия с наплавленной поверхностью.

6.4.9. Для оценки конструкционной прочности ответственных сварных узлов (сварные тройники, трубы с продольными швами, штампосварные колена и др.) рекомендуется проведение натурных испытаний или испытаний крупных моделей в стендовых условиях.

Стендовые испытания рекомендуются для оценки прочности сварных соединений с ярко выраженной геометрической неоднородностью (например, угловые сварные соединения тройников, труб с коллекторами и т. п.), особенно при совместном действии длительной статической и циклической нагрузок и наличии среды повышенной агрессивности.

6.4.10. При проектировании и изготовлении сварных конструкций важное значение имеет правильное определение величины допустимых дефектов в сварных соединениях и обоснованный выбор на этой основе методов, объема и периодичности контроля изделия после изготовления и в процессе эксплуатации. В настоящее время успехи в области линейной механики разрушения позволяют с достаточной для практических целей точностью провести количественную оценку поведения элементов конструкций с трещиноподобными дефектами при статическом нагружении.

Испытания по методам линейной механики разрушения должны производиться на образцах натурной толщины с трещинами по схемам трехточечного изгиба или внецентренного растяжения. Их следует применять, в первую очередь, для наиболее ответственных сварных узлов энергооборудования (роторов, толстостенных сосудов высокого давления и им подобных).

7. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

7.1. Назначение и виды термической обработки

7.1.1. Термическая обработка сварных конструкций должна назначаться в тех случаях, когда установлено, что работоспособность и надежность конструкции в исходном состоянии после сварки не обеспечивается другими средствами и что проведение термообработки дает положительный результат. Большое количество факторов, определяющих работоспособность и надежность сварных конструкций, не позволяет дать общие рекомендации относительно необходимости термообработки или возможности отказа от нее. В каждом конкретном случае этот вопрос должен решаться самостоятельно.

7.1.2. При решении вопроса о необходимости термической обработки или возможности отказа от нее следует обратить особое внимание на то, чтобы использованная для оценки работоспособности сварных соединений методика учитывала все особенности изготовления, испытания и эксплуатации конструкции. Однако нужно принять за правило не назначать термическую обработку для конструкций, по которым имеется многолетний положительный опыт эксплуатации в аналогичных условиях, или для вновь проектируемых конструкций, имеющих прототип, эксплуатация которого подтверждает надежность работы без термической обработки после сварки.

7.1.3. Проведение термической обработки может преследовать различные цели. Она может использоваться для улучшения свойств металла шва и различных участков ЗТВ, снятия остаточных сварочных и структурных напряжений для повышения прочности сварной конструкции и сохранения размеров и формы изделия в процессе механической обработки и эксплуатации.

7.1.4. При назначении режима термической обработки следует стремиться к сохранению свойств основного металла, определенных на заготовках. При невозможности сохранения свойств основного металла должны быть приняты меры к контролю свойств основного металла на термообработанном после сварки изделии.

7.1.5. Одна и та же термическая обработка может выполнять несколько функций. В зависимости от характера воздействия на сварные соединения можно выделить следующие ее виды:

высокий отпуск для снятия остаточных напряжений и улучшения структуры и свойств шва и ЗТВ благодаря переводу неравновесных закалочных структур в более равновесные, для снятия наклепа, вызванного пластическими деформациями, а также для устранения деформационного старения; он является наиболее распространенным видом термической обработки сварных соединений перлитных, мартенситных и бейнитных сталей, выполненных всеми видами сварки;

нормализация и нормализация с последующим отпуском для измельчения недопустимо крупнозернистой структуры шва и уча-

стка перегрева в ЗТВ сварных соединений низкоуглеродистых и низко- и среднелегированных сталей, выполненных на режимах с большими погонными энергиями (например, электрошлаковой сваркой);

стабилизирующий отжиг для снятия сварочных напряжений сварных соединений из хромоникелевых нержавеющих сталей;

закалка (аустенизация) сварных соединений их хромоникелевых аустенитных сталей для повышения их жаропрочности, коррозионной стойкости и стойкости против локальных разрушений.

В узлах высокой жесткости из хромомолибденованадиевых сталей и при заварке дефектов литья нормализация и нормализация с отпуском могут рекомендоваться в отдельных случаях для повышения стойкости против локальных разрушений. Так как при этом виде термической обработки свойства основного металла, определенные на заготовках, меняются, они должны дополнительно контролироваться путем испытания образцов, вырезанных из готового изделия после проведения полной термической обработки или из образцов-свидетелей натурной толщины, прошедших ее вместе с изделием.

7.1.6. Целесообразность применения термической обработки для обеспечения высокой работоспособности и надежности сварных конструкций зависит от следующих факторов: легирования и способа выплавки стали, типа конструкции и толщины свариваемых элементов, способа сварки и ее условий, легирования металла шва, полноты контроля качества изделия и условий эксплуатации конструкций.

7.2. Деление сварных конструкций энергооборудования на группы в зависимости от целесообразности их термической обработки

7.2.1. Элементы энергооборудования, работающие при высоких температурах и под давлением, относятся к особо ответственным конструкциям, разрушение которых связано с катастрофическими последствиями. Для сварных узлов энергоустановок при их изготовлении из теплоустойчивых и жаропрочных сталей термическая обработка является одним из основных средств повышения надежности работы и находит широкое применение.

Общие рекомендации по назначению и виду термической обработки сварных узлов энергоустановок в зависимости от материалов конструкции, ее типа, условий работы и других факторов приведены в табл. 13. В ней учтены требования правил ГГТН СССР в отношении ограничения предельной толщины стенки сосудов и трубопроводов, изготавливаемых без проведения термической обработки, а также требования ОСТ 108.940.102—87 в отношении режима термической обработки трубных систем котлоагрегатов и трубопроводов.

7.2.2. Сварные узлы, изготавливаемые из теплоустойчивых и жаропрочных сталей и работающие при высоких температурах в условиях ползучести (свыше 450°С для хромомолибденовых,

Таблица 13

Марка стали	Тип конструкции	Термическая обработка		Склонность к образованию трещин при термической обработке
		для обеспечения прочности	для обеспечения точности размеров конструкции	
		Углеродистые стали		
ВСт3сп, ВСт3пс, ВСт3Гпс	Каркасы котлов	Не требуется	Не требуется	Отсутствует
ВСт3сп, ВСт3пс, ВСт3Гпс, 20	Сосуды, работающие под давлением (барабаны котлов, теплообменные аппараты), трубные системы, корпуса арматуры	Для ответственных конструкций при толщине свариваемых элементов более 36 мм — отпуск		
15К, 20К	Корпуса цилиндров, диафрагмы, рамные конструкции, барабаны котлов, сосуды, работающие под давлением	Отпуск при толщине свариваемых элементов более 36 мм	Отпуск при всех толщинах	
25Л	Корпуса арматуры и цилиндров	Отпуск при толщине более 36 мм		
20ГСЛ, 08ГДНФЛ		Отпуск при толщине более 30 мм		
		Конструкционные низко- и среднелегированные стали		
22К	Сосуды, работающие под давлением (барабаны котлов, теплообменные аппараты), трубные системы	Отпуск при толщине обечаек более 36 мм	Не требуется	Отсутствует
15ГС, 09Г2С, 16ГС		Отпуск при толщине обечаек свыше 30 мм		
16ГС, 09Г2, 09Г2С	Каркасы котлов	Отпуск при толщине свариваемых элементов свыше 40 мм		
16ГНМА	Барабаны котлов	Отпуск при толщине более 20 мм [1]		
25Х2НМФА, 20ХН2МФА	Роторы, корпуса турбин	Отпуск при всех толщинах [1]		Низкая
		Теплоустойчивые стали		
12ХМ	Рамы, корпуса цилиндров турбин и насосы	Отпуск при толщине стенки свыше 10 мм [1]	Отпуск при всех толщинах	Отсутствует
12МХ, 15ХМ, 12ХМ	Поверхности нагрева, паропроводы		Не требуется	
12Х1МФ, 15Х1М1Ф	Корпуса цилиндров турбин	Отпуск при всех толщинах		Средняя
	Поверхности нагрева, паропроводы, коллекторы	Отпуск при толщине стенки свыше 6 мм [1, 2]	Не требуется	
12Х2М1	Паропроводы, коллекторы котлов	Отпуск при всех толщинах		
15Х5М, 15Х5МФ	Корпуса насосов	Отпуск при всех толщинах [1]		Отсутствует
20ХМЛ, 20ХМФЛ, 15Х1М1ФЛ	Корпуса арматуры и турбин			Высокая

Продолжение табл. 13

Марка стали	Тип конструкции	Термическая обработка		Склонность к образованию трещин при термической обработке
		для обеспечения прочности	для обеспечения точности размеров конструкции	
Коррозионно-стойкие и жаропрочные высокохромистые стали				
08Х13	Горячие опоры, обшивка котлов и т. д.	Отпуск при толщине свыше 10 мм [3]	Не требуется	Отсутствует
	Корпуса газовых турбин	Отпуск при всех толщинах [2]		
12Х13, 20Х13	Рабочие лопатки, сопловой аппарат, диафрагмы			Слабая
15Х11МФ, 15Х11МФБ, 15Х12ВНМФ				
15Х11В2МФ	Поверхности нагрева и паропроводы	Отпуск при всех толщинах [3]	Не требуется	
06Х12Н3Д, 18Х11МНФБЛ, 15Х12ВНМФ	Корпуса арматуры и цилиндров турбин	Отпуск при всех толщинах [2]		
Жаропрочные и коррозионно-стойкие аустенитные стали				
12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т	Теплообменные аппараты, трубные системы и газопроводы, регенераторы газовых турбин	Не требуется при температуре эксплуатации до 500°С		Высокая
	Корпуса цилиндров газовых турбин, диафрагмы	Стабилизация		
12Х18Н12Т	Поверхности нагрева	Не требуется	Не требуется	Отсутствует
	Паропроводы	Аустенизация при толщине стенки свыше 10 мм [4]		
08Х16Н13М2Б	Корпуса арматуры, диафрагмы	Стабилизация	Стабилизация	
Х16Н9М2		Не требуется		
Х20Н12ТЛ, 10Х18Н9ТЛ, Х25Н13АТЛ	Корпуса арматуры и цилиндров турбин	Аустенизация или стабилизация [4]		Высокая
Высокожаропрочные аустенитные стали и сплавы на никелевой основе				
ХН35ВТ, 08Х15Н24В4ТР	Корпуса турбин и арматуры, диафрагмы турбин	Двойная стабилизация или аустенизация с последующей стабилизацией [4]		Высокая
ХН78Т, ХН60ВТ	Камеры сгорания газовых турбин	Не требуется		Отсутствует
ХН80ТБЮ, ХН65ВМТЮ	Направляющий аппарат газовых турбин	Аустенизация с последующей двойной стабилизацией [4]		Высокая

[1] Рекомендуется ограничивать время выдержки между окончанием сварки и началом термической обработки или вводить операцию отдыха после окончания сварки.

[2] При сварке продольных швов труб горячего промперегрева методами электрошлаковой или автоматической дуговой сварки под флюсом должна вводиться операция нормализации с последующим отпуском.

[3] При сварке аустенитными электродами термическая обработка может не производиться.

[4] Перед термической обработкой рекомендуется механическая обработка сварных швов до плавного сопряжения с основным металлом.

хромомолибденованадиевых и высокохромистых сталей и свыше 500°С для аустенитных сталей), подлежат обязательной термической обработке в соответствии с ОСТ 108.940.102—87. При малой толщине и большой гибкости свариваемых элементов (стыки труб поверхностей нагрева) допускается их эксплуатация без проведения термической обработки после сварки.

7.2.3. Необходимость проведения термической обработки сварных узлов типа сосудов, работающих под давлением (барабанов котлов, теплообменных аппаратов различного назначения), трубопроводов и коллекторов котлов, эксплуатируемых при высоких температурах при отсутствии ползучести (менее 400°С для конструкционных низколегированных и низкоуглеродистых сталей и менее 500°С для аустенитных сталей), зависит от используемой марки стали и толщины свариваемых элементов.

Сварные узлы этого типа, изготавливаемые из конструкционных низколегированных и низкоуглеродистых сталей, подлежат обязательному отпуску, если толщина любого из свариваемых элементов превышает нормативную, установленную для каждой марки стали (см. табл. 13). При использовании ЭШС узлы подвергаются после сварки нормализации или нормализации с отпуском.

Принятый режим отпуска ответственных толстостенных сосудов этого типа должен обеспечивать требуемый уровень свойств всех зон сварных соединений при температуре эксплуатации и высокую стойкость против хрупких разрушений во время изготовления и при гидравлических испытаниях.

Изготовленные из аустенитных сталей сварные узлы типа сосудов, работающих под давлением, и теплообменных аппаратов (подогреватели низкого давления АЭС, регенераторы газовых турбин и т. п.) вне зависимости от толщины свариваемых элементов термической обработке могут не подвергаться.

7.2.4. Сварные узлы высокой точности (корпуса цилиндров турбин и насосов, роторы, рамы и др.) вне зависимости от класса свариваемых сталей и условий работы подлежат обязательной термической обработке для снятия сварочных напряжений. При назначении термической обработки следует руководствоваться следующим:

при изготовлении из низкоуглеродистых, низколегированных конструкционных и теплоустойчивых сталей конструкции после сварки должны подвергаться отпуску;

при изготовлении из аустенитных сталей конструкции после сварки должны подвергаться стабилизации по режиму, обеспечивающему эффективное снятие сварочных напряжений; применение аустенизации для этого типа конструкций нежелательно из-за опасности искажения размеров во время термической обработки;

при невозможности проведения термической обработки узлов высокой точности она может быть заменена введением ступенчатой механической обработки изделия после сварки.

7.2.5. Узлы строительного типа (каркасы котлов и им подобные), изготавливаемые из низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей, в подавляющем большинстве случаев термической обработке не подлежат. Лишь при сочетании нескольких неблагоприятных факторов: низкая температура, большая толщина свариваемых элементов, наличие резких конструктивных или технологических (дефекты сварки) концентраторов напряжений, работа соединений в условиях значительных вибрационных или ударных нагрузок — может возникнуть необходимость в отпуске для снятия остаточных растягивающих сварочных напряжений. Однако и в отмеченных редких случаях рациональное конструктивно-технологическое проектирование сварных конструкций и высокое качество их изготовления позволяют обеспечить требуемую работоспособность, не прибегая к термической обработке.

7.3. Рекомендации по проведению термической обработки

7.3.1. Режимы термической обработки должны выбираться в зависимости от состава основного металла и металла шва, требований, предъявляемых к сварным конструкциям, и условий их эксплуатации.

7.3.2. При использовании для изготовления конструкции сталей, подверженных при сварке закалке с образованием хрупких структур, термическая обработка должна проводиться либо непосредственно после окончания сварочных работ, либо не позднее определенного времени, установленного экспериментально. При невозможности выполнения немедленной термической обработки сразу после сварки рекомендуется выдерживать сварной узел при температуре подогрева до посадки его в печь. В этих случаях время проведения термической обработки после сварки может не регламентироваться.

Допускается проведение после сварки операции отдыха — выдержки изделия после сварки при 200—300°С длительностью 5—20 ч в зависимости от марки стали и массы изделия.

7.3.3. Для исключения коробления конструкции при нагреве температура печи при посадке в нее изделия должна быть не выше 300°С. Исключение составляют конструкции, которые свариваются с сопутствующим подогревом и должны быть помещены в печь немедленно после сварки. В этом случае температура печи при посадке должна быть не ниже температуры подогрева.

7.3.4. Допустимые скорости нагрева изделий зависят от вида термической обработки (общей или местной), типа конструкции и ее материала, толщины свариваемых элементов и мощности нагревательных устройств. При общей термической обработке изделий средней сложности (например, сосудов, работающих под давлением) максимальная скорость нагрева не должна превышать 200°С/ч при толщине элементов до 25 мм включительно. При большей толщине скорость нагрева может определяться по формуле

$$v = 200\frac{25}{S},$$

где v — скорость нагрева, °С/ч; S — толщина элемента, мм.

При нагреве изделий температура различных участков не должна отличаться более чем на 50°С. При выборе скоростей нагрева следует учитывать повышенную опасность образования трещин в интервале температур 550—680°С для сварных конструкций из хромомолибденованадиевых сталей и 650—780°С для сварных конструкций из сталей аустенитного класса.

7.3.5. Длительность выдержки при температуре отпуска должна обеспечивать равномерный прогрев изделия, полноту протекания релаксационных процессов и структурных превращений. Перепад температур на отдельных участках крупных изделий не должен превышать значений, предусмотренных соответствующими техническими условиями или инструкциями по термической обработке.

7.3.6. Скорость охлаждения изделий должна выбираться такой, чтобы исключить образование новых остаточных напряжений и коробления конструкции. Для изделий средней сложности (типа сосудов, работающих под давлением) максимальная скорость охлаждения не должна превышать 200°С/ч при толщине элементов до 25 мм и величины, определяемой по формуле (см. п. 7.3.4) при большей толщине.

7.3.7. При отпуске изделий из сталей, подверженных отпускной или тепловой хрупкости, а также при высокотемпературной обработке узлов из высоколегированных сталей, склонных к сигматизации или охрупчиванию при 475°С, должны быть ограничены и минимальные скорости охлаждения в опасном интервале температур.

В отдельных случаях, например при термической обработке узлов из теплоустойчивых хромомолибденованадиевых и жаропрочных аустенитных стабилизированных сталей, должна ограничиваться минимальная скорость нагрева в опасном для этих сталей интервале температур.

7.3.8. При проведении местной термической обработки следует учитывать, что эта операция всегда влечет за собой образование остаточных напряжений. Задача состоит в том, чтобы вновь образующиеся напряжения были возможно меньшими по величине, а их пики лежали за пределами опасных сечений.

При проведении местной термической обработки необходимо уменьшить перепад температур по толщине элемента, особенно в период охлаждения. С этой целью рекомендуется применение теплоизоляции, уменьшающей отдачу теплоты от высоконагретых участков конструкции в воздух.

При местной термической обработке сосудов, работающих под давлением, и трубопроводов минимальная ширина зоны равномерного разогрева F в каждую сторону от шва была бы не менее чем

$$F \geqslant \sqrt{D_{ср} S},$$

где F — ширина зоны равномерного разогрева, мм; $D_{ср}$ — средний диаметр трубы или сосуда, мм; S — толщина стенки трубы, мм.

Расстояние между обрабатываемым сварным швом и массивным изделием должно выбираться в соответствии с требованиями п. 5.1.4.

7.4. Способы повышения работоспособности сварных конструкций без проведения термической обработки

7.4.1. В ряде случаев требуемое сочетание свойств изделий и высокую эксплуатационную надежность можно получить без применения термической обработки, используя при конструктивно-технологическом проектировании сварной конструкции те или иные приемы, эффективные в конкретных условиях. Совершенствование конструирования и технологии изготовления сварных узлов позволяет в ряде случаев отказаться от термической обработки конструкций, которой ранее они подвергались.

7.4.2. Материал конструкций должен обеспечивать достаточный запас пластичности всех ее участков при наиболее неблагоприятном сочетании отрицательных факторов (концентраторов, основных расчетных напряжений, температуры и характера нагружения и др.). С этой целью рекомендуется:

использовать хорошо сваривающиеся низколегированные конструкционные стали;

для конструкций, монтируемых и эксплуатируемых при расчетной температуре наружного воздуха ниже минус 40°С (районы Крайнего Севера и Дальнего Востока), сварку проводить электродами с фтористокальциевым покрытием, не допуская применения электродов с руднокислым покрытием (указанное требование следует применять и для ответственных сварных конструкций, работающих в нормальных условиях при толщине свариваемых элементов свыше 20 мм);

для конструкций, работающих при низких температурах, а также в нормальных условиях, но изготовленных из закаливающихся сталей, при невозможности (по производственным условиям) проведения термической обработки, в отдельных случаях сварку выполнять аустенитными электродами на железной или никелевой основе;

в узлах энергооборудования, а также в других конструкциях, работающих при температурах более 500°С и требующих применения аустенитных сталей, использовать аустенитные стали, легированные молибденом.

7.4.3. Технология сварки должна обеспечивать выполнение сварки и получение сварных соединений, свободных от дефектов и технологических концентраторов напряжений. При разработке технологии необходимо руководствоваться следующим:

для снижения уровня остаточных напряжений (в целях повышения усталостной прочности, коррозионной стойкости изделия и пр.), а также для уменьшения степени закалки свариваемой стали в околошовной зоне (с тем чтобы твердость ЗТВ не превышала 250 НВ) рекомендуется сварку выполнять на мягких режи-

мах (с большой погонной энергией) и шире использовать предварительный и сопутствующий подогрев;

для обеспечения высокой сопротивляемости хрупкому разрушению сварных соединений из низколегированных и углеродистых сталей, выполненных электрошлаковой сваркой и не подвергаемых нормализации, присадочные материалы и режимы сварки следует выбирать такими, при которых предел текучести шва не превышал бы предела текучести участка перегрева в околошовных зонах, а вязкость металла шва была бы повышенной.

8. ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

8.1. Общие положения

8.1.1. Точность* сварных конструкций в зависимости от их назначения должна отвечать требованиям соответствующих стандартов и технических условий. Исходя из конструктивного решения и технических требований все сварные конструкции энергооборудования в отношении их точности могут быть условно разделены на 4 группы (табл. 14).

8.1.2. Точность сварных конструкций формируется на всех этапах их изготовления: при вырезке и обработке деталей (заготовок), сборке под сварку, сварке и последующих операциях (термической и механической обработке, правке). Поэтому необходима тщательная проработка вопросов точности на всех технологических операциях.

Исследования точности сварных диафрагм паровых турбин (конструкции 1-й группы по табл. 14) показали, что еще до сварки многие размеры имели предельные отклонения выше допустимых, что свидетельствовало о неудовлетворительном выполнении заготовок и сборки узлов.

8.1.3. Технологический процесс и конструкция изделия должны быть разработаны таким образом, чтобы требуемая точность сварного узла обеспечивалась без лишних затрат времени и труда. Операции подгонки и подрубки при сборке конструкции и правки после ее сварки должны быть сведены к минимуму.

8.1.4. Размеры основных деталей, определяющих габариты конструкции, должны устанавливаться с учетом ожидаемой сварочной деформации (усадки). Величина деформации может быть определена расчетом, опытной проверкой на головных образцах узла или изделия и на основе усредненных опытно-статистических нормативов.

8.1.5. Для обоснованного назначения предельных отклонений размеров на различных технологических операциях и согласования их с требованиями к точности готовой конструкции рекомендуется применять расчеты размерных цепей в соответствии с

---

* Под точностью сварной конструкции следует понимать степень соответствия ее фактических размеров и форм требованиям чертежа.

Таблица 14

Группа	Технические требования к точности	Рекомендуемые средства достижения точности	Примеры конструкции
1	Повышенные требования к точности размеров (кл. 4—5 по ГОСТ 2689—54), формы и расположения поверхностей (степени точности XI—XII по ГОСТ 24643—81) при невозможности механической обработки после сварки	Механическая обработка заготовок, сборка в приспособлениях, строгий контроль заданных режимов и последовательности сварки	Сварные диафрагмы в отношении размеров паровых каналов; сварные роторы (по размерам внутренних полостей)
2	Повышенные требования к точности размеров, формы и расположения поверхностей при возможности их механической обработки	Механическая обработка после сварки, при необходимости термообработка для снятия напряжений	Все корпусные узлы и конструкции
3	Средние требования к точности размеров класса 7 и формы при относительно малой жесткости изделия	Регулирование деформаций изгиба при сварке (начальным выгибом, закреплением, последовательностью сварки). Допускается правка после сварки	Колонны и балки, газоплотные панели, коллекторы с приварными штуцерами, сосуды
4	Невысокие требования к точности (класс 9)	Точность заготовок и соблюдение технологического процесса сборки и сварки	Кожухи

ГОСТ 16319—80 и ГОСТ 16320—80 с включением деформации от сварки в качестве одного из звеньев в технологической размерной цепи.

8.1.6. Предельные отклонения размеров деталей и сборочных единиц сварных конструкций должны назначаться по ОСТ 108.030.30—79.

8.2. Точность заготовок

8.2.1. Предельные отклонения размеров сопрягаемых деталей (заготовок) должны обеспечить сборку узлов без пригонки деталей по месту или с минимальной пригонкой при соблюдении в сварных соединениях требуемых зазоров в соответствии с действующими стандартами и техническими условиями.

8.2.2. При необходимости получения более высокой точности заготовок (для конструкций 1-й группы точности по табл. 14) и во всех случаях использования легированных сталей должна применяться размерная механическая обработка с технико-экономическим обоснованием необходимых требований к точности и шероховатости поверхностей деталей.

8.2.3. Припуски на механическую обработку заготовок после газовой резки должны определяться по ГОСТ 12169—82.

8.3. Сборка и сварка конструкций

8.3.1. При сборке и сварке конструкций должны предусматриваться мероприятия, обеспечивающие сохранение проектных форм изделия.

8.3.2. При необходимости получения в сложных конструкциях любой группы точности размеров припуск на ожидаемые сварочные деформации должен быть рассчитан для данной конкретной конструкции.

8.3.3. Конструкции, относящиеся к 1-й группе точности (см. табл. 14), должны обязательно собираться с применением оснастки (сборочно-сварочных приспособлений), обеспечивающей точное и надежное фиксирование каждой детали в проектном положении с поправкой на сварочную деформацию. Точность приспособления должна быть по меньшей мере на 1 класс выше точности расположения элементов конструкции по чертежу.

Применение приспособлений рекомендуется и при изготовлении конструкций пониженной точности, если эти приспособления дают технико-экономические преимущества (экономия за счет отказа от прихваток, удобство поворота и пр.). Их конструкция должна обеспечивать доступ ко всем швам, приспособление должно выдерживать все силовые воздействия от массы изделия и от термических и остаточных напряжений.

8.3.4. Сборка изделия должна начинаться с установки базовой или закладной детали, к которой присоединяются (устанавливаются) все остальные детали. В качестве базовой рекомендуется применять наиболее массивную и протяженную деталь узла, имеющую контакт с наибольшим количеством примыкающих деталей, с явно выраженной опорной поверхностью. В некоторых случаях

возможны две и более деталей, устанавливаемых в качестве базовых (закладных).

8.3.5. При сборке должны обеспечиваться не только требуемое взаимное положение детали и составные размеры конструкции, но и определенная величина зазоров между деталями в сварных швах в полном соответствии с действующими стандартами и техническими условиями в зависимости от способа сварки, типа и размеров шва и характера подготовки кромок соединения.

8.3.6. Необходимая подгонка при сборке должна предусматриваться технологическим процессом. Целесообразность применения подгонки должна быть обоснована экономически.

8.4. Сварочные деформации

8.4.1. Основной причиной деформирования изделий при сварке является их неравномерный разогрев от сварочного источника тепла.

8.4.2. Укорочения (продольные и поперечные) возрастают с увеличением количества наплавленного при сварке металла обратно пропорционально площади поперечного сечения элемента. Для уменьшения деформаций этого вида рекомендуется конструировать швы с минимально необходимыми (по условиям прочности или технологичности) сечениями.

Перспективны переход на узкую разделку при дуговой сварке элементов больших толщин и замена дуговых способов сварки сваркой электронным лучом для некоторых узлов 1-й и 2-й групп точности (см. табл. 14).

8.4.3. Деформации общего изгиба от продольных и поперечных швов зависят в основном от эксцентричности расположения швов в изделии. Для уменьшения деформаций этого типа, помимо рационального проектирования конструкции, целесообразно применять предварительный выгиб перед сваркой, создающий в районе сварных швов растягивающие напряжения.

8.4.4. Угловые деформации связаны с несимметричностью разогрева по толщине металла. Для уменьшения этих деформаций рекомендуется применять в разделках симметричные скосы кромок (Х- и К-образные вместо V-образных). В процессе сварки целесообразно обеспечивать увеличенную жесткость изделия путем закрепления или постановки технологических ребер жесткости либо путем использования оптимальной последовательности выполнения сварных швов.

8.4.5. Местные деформации (выпучины) определяются потерей устойчивости тонкостенных элементов от действия сжимающих сварочных напряжений. Для борьбы с этими деформациями рекомендуется увеличение местной жесткости элементов путем применения гофрирования и гнутых профилей.

8.4.6. Для конструкций 2-й группы точности (см. табл. 14), деформации изгиба которых незначительны, припуск на линейные укорочения может быть ориентировочно определен без расчета по данным табл. 15.

Таблица 15

Направление деформации	Стыковые и тавровые соединения			Угловые соединения	
	$\delta < 25$	$25 < \delta < 50$	$\delta > 50$	$K = \delta$	$K < \delta$
Поперек шва, мм/шов	0,5—1,0	1,0—2,0	1,5—3,0	—	—
Вдоль шва, мм/м	0,2—0,5	0,4—0,6	0,4—0,6	—	—
Поперек шва, мм/ребро	—	—	—	0,3—0,5	0,1—0,3

Примечание. Припуски на линейные укорочения для нахлесточных соединений принимаются равными половине припуска на угловые соединения.

8.5. Деформации при механической обработке

8.5.1. При механической обработке сварных конструкций, имеющих остаточные напряжения, возможны деформации изгиба, возникающие в момент освобождения конструкции от закрепления. Причиной этих деформаций является перераспределение остаточных напряжений при изменении геометрических размеров сечения элемента.

Если механическая обработка не захватывает упруго-пластические зоны, то дополнительная деформация имеет незначительную величину и то же направление, что и изгиб от сварки.

Если же механическая обработка затрагивает упруго-пластическую зону, то дополнительная деформация изгиба по направлению обратна сварочной и может иметь значительную величину.

Во всех случаях величина дополнительной деформации тем больше, чем больше удаляемый припуск и его расстояние от оси элемента.

Для уменьшения деформаций при механической обработке рекомендуется:

назначать минимально возможные по технологическим условиям припуски на обработку;

размещать обрабатываемые участки вне упруго-пластических зон конструкции;

применять ступенчатую механическую обработку с освобождением изделия от крепления к станку после каждой ступени обработки; величина остающегося припуска должна быть больше величины деформации конструкции от удаления предыдущего припуска;

применять термообработку для снятия остаточных напряжений.

8.6. Деформации при термической обработке

8.6.1. Деформации, возникающие от релаксации напряжений (сварочных) в процессе нагрева и выдержки, составляют обычно малую долю от величины сварочных деформаций и имеют одинаковые с ними направления, если жесткость изделия сравнительно мала. Если же жесткость изделия очень велика, то деформации при термообработке направлены противоположно сварочным.

8.6.2. Деформации, возникающие от внешних сил (собственной массы и внешних закреплений), могут иметь значительную величину, особенно при больших выдержках; их направление полностью определяется характером конструкции.

8.6.3. Деформации, возникающие при неравномерном нагреве и охлаждении изделия, являются следствием развития пластических деформаций при превышении термическими напряжениями величины предела текучести.

8.7. Размерные цепи в сварных конструкциях

8.7.1. Расчет размерных цепей в сварных конструкциях применяется с целью обоснованного назначения взаимно согласованных допусков на размеры и форму деталей (заготовок), на точность приспособлений, сборку и установление величины сварочных деформаций. Методика расчета определена ГОСТ 16320—80.

8.7.2. Размерные цепи выявляются путем анализа сварной конструкции и технологической схемы ее изготовления, влияющей на точность контролируемого размера в готовой сварной конструкции.

8.7.3. В зависимости от принятой схемы сборки замыкающими звеньями размерной цепи могут быть либо зазоры в сварных соединениях (при сборке в приспособлении), либо габаритные размеры узла (при сборке с опиранием деталей одна на другую).

8.7.4. Для суммирования погрешностей составляющих звеньев размерной цепи рекомендуется вероятностное суммирование, исключающее возможность сочетания предельных погрешностей. В первом приближении распределение погрешностей можно принять по нормальному закону. При этих условиях для линейной размерной цепи допуск замыкающего звена δ_Δ определяется по формуле

$$\delta_\Delta = \sqrt{\sum_i \delta_i^2},$$

где δ_i — допуск на каждое из составляющих звеньев, мм.

8.7.5. При решении прямой задачи (определение допусков замыкающего звена) рекомендуется применять подбор возможных сочетаний допусков при технико-экономическом обосновании реальности их осуществления.

8.7.6. При невозможности решить задачу неполной взаимозаменяемости с учетом существующей точности технологических процессов рекомендуется применять в конструкции звенья-компенсаторы для полного или частичного поглощения накопившихся погрешностей.

8.7.7. Для включения в технологическую размерную цепь погрешности, вносимой сварочными деформациями, необходимо предварительно определить среднюю величину ожидаемой деформации, которая служит центром группирования в соответствующем звене размерной цепи, и возможный диапазон рассеивания сварочных деформаций, определяющих поле допуска этого звена.

Среднюю величину ожидаемой деформации можно скомпенсировать назначением соответствующего припуска, а диапазон рассеивания можно сократить только путем стабилизации всех факторов, влияющих на сварочные деформации (зазоры в сварных соединениях, режимы сварки, начальное напряженное состояние).

9. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

9.1. Требования к выбору объемов и методов контроля сварных конструкций энергетического оборудования, обеспечивающие его эксплуатационную надежность

9.1.1. Методы и объемы контроля и нормы оценки качества должны определяться при проектировании в зависимости от условий работы (температуры, давления и уровня рабочих напряжений), типа конструкции (ее назначения) и степени ответственности согласно требованиям нормативных документов.

9.1.2. На всех стадиях проектирования сварных конструкций следует уделять особое внимание обеспечению возможности эффективного осуществления выбранных методов контроля.

9.1.3. Высокое качество сварных соединений обеспечивается лишь при тщательном контроле технологического процесса на всех этапах изготовления изделия. При этом необходимо сочетание различных методов контроля в связи с ужесточением требований к качеству продукции, которое определяется ростом числа сварных соединений в конструкциях и повышением рабочих параметров оборудования.

9.1.4. Контроль качества сварных соединений должен состоять из предварительного контроля основных и сварочных материалов, оборудования, квалификации исполнителей, пооперационного контроля (в процессе сборки, сварки и термообработки) и контроля готовой продукции, разделяющегося, в свою очередь, на неразрушающие и связанные с разрушением сварных соединений методы.

9.2. Основные методы контроля сварных соединений и области их применения

9.2.1. Основными методами контроля качества сварных конструкций являются неразрушающие. Выбор неразрушающего метода контроля определяется его чувствительностью (разрешающей способностью) с учетом возможности выявления наиболее вероятных типов дефектов, производительностью и трудоемкостью метода, а также техническими возможностями производства.

9.2.2. Внешнему осмотру подвергаются 100% сварных соединений во всех типах и категориях конструкций. Он предназначен для выявления наружных дефектов, видимых невооруженным глазом или с небольшим увеличением.

9.2.3. Ультразвуковой контроль (УЗК) является широко применяющимся неразрушающим методом контроля. Этот метод практически не имеет ограничений по толщине, отличается высокой экономичностью, низкой трудоемкостью и высокой оперативностью

и позволяет, благодаря высокой разрешающей способности, обнаруживать наиболее опасные (трещиноподобные) дефекты.

При назначении УЗК необходимо учитывать, что его применение затруднено при контроле сварных соединений из аустенитных сталей и сплавов. При использовании этого метода возможен пропуск мелких одиночных дефектов округлой формы; он не выявляет слипаний в соединениях контактной сварки. Недостатком метода является также то, что идентификация дефектов субъективна и зависит от квалификации оператора. Применение УЗК для толщин менее 4 мм нерационально.

9.2.4. Радиографический контроль (рентгено- и гаммаграфия) хорошо выявляет дефекты округлой формы типа шлаковых и газовых включений, но не выявляет трещиноподобные дефекты. При толщинах свыше 80 мм чувствительность метода является недостаточной. В этих случаях возможно применение более мощных источников излучения (например, бетатрона).

9.2.5. Магнитопорошковый метод проводится на сварных соединениях из сталей перлитного класса с целью обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов.

9.2.6. Люминесцентно-цветной метод предназначен для выявления мелких поверхностных дефектов (трещин, надрывов, пор и др.) в швах, наплавках и зонах термического влияния основного металла аустенитного класса.

9.2.7. Контроль травлением швов и зоны термического влияния может применяться для выявления поверхностных дефектов в сварных соединениях из сталей всех структурных классов, а также в разнородных соединениях.

9.2.8. Измерение твердости металла шва и зоны термического влияния позволяет оценить качество выполнения термической обработки или подогрева при сварке. Этот метод контроля рекомендуется к применению в сварных соединениях из закаливающихся сталей (конструкционных, легированных, теплоустойчивых перлитных и жаропрочных высокохромистых).

9.2.9. Гидравлическое испытание применяется для оценки прочности и плотности металла и сварных соединений конструкций, работающих под давлением (сосуды, трубопроводы, арматура, цилиндры турбин и др.). При назначении гидроиспытания толстостенных сосудов следует учитывать требования п. 2.1.7 и назначать минимальную температуру воды выше переходной температуры хрупкости металла конструкции.

9.2.10. Контроль плотности течеискателями (гелиевым или галлоидным) проводится в том случае, когда к сварному соединению предъявляются повышенные требования по плотности. Возможны и другие методы, предусмотренные соответствующими нормативными документами.

9.2.11. Прогонка шаром применяется с целью проверки обеспечения заданного проходного сечения в контактных стыках труб, поверхностей нагрева котлов и теплообменных аппаратов.

9.3. Объем контроля и нормы оценки качества сварных соединений для различных типов конструкций

9.3.1. Методы и объемы контроля паровых котлов устанавливаются «Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов». Оценка качества производится по ОСТ 108.940.103—87 и инструкции по ультразвуковому контролю качества сварных соединений.

9.3.2. Методы и объемы контроля трубопроводов определяются «Правилами устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды». Качество оценивается по ОСТ 108.940.103—87 и инструкции по ультразвуковому контролю качества сварных соединений.

9.3.3. Для оборудования, не охваченного приведенными нормативными документами, рекомендуется устанавливать объемы, методы контроля и нормы оценки качества сварных соединений в зависимости от рабочих параметров и степени ответственности по аналогии с оборудованием, подведомственным инспекции Госгортехнадзора. Они должны быть отражены в технических условиях на изготовление изделия или нормативно-технической документации, на которую имеются ссылки в указанных технических условиях.

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКУМЕНТОВ, НА КОТОРЫЕ ДАНЫ ССЫЛКИ В ТЕКСТЕ РТМ 108.940.08—85

Обозначение документа	Наименование	Номер пункта РТМ
ГОСТ 2246—70	Проволока стальная сварочная. Технические условия	3.6.3
ГОСТ 2689—54	Допуски и посадки размеров свыше 500 до 10 000 мм	8.1.1
ГОСТ 5264—80	Швы сварных конструкций. Ручная электродуговая сварка. Основные типы и конструктивные элементы	5.4.2
ГОСТ 5639—82	Сталь. Методы выявления и определения величины зерна	2.4.6; 3.6.4
ГОСТ 6996—66	Сварные соединения. Методика определения механических свойств	6.1.6, 6.2.2, 6.3.3
ГОСТ 8050—76	Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия	3.6.3
ГОСТ 8713—79	Швы сварных соединений. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом. Основные типы и конструктивные элементы	5.4.2
ГОСТ 9087—81	Флюсы сварочные плавленые. Технические условия	3.6.3
ГОСТ 9467—75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация, размеры и общие технические требования	3.6.3
ГОСТ 10052—75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы	3.6.3
ГОСТ 10145—81	Металлы. Метод испытания на длительную прочность	6.4.4
ГОСТ 10157—79	Аргон газообразный и жидкий. Технические условия	3.6.3
ГОСТ 11533—75	Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры	5.4.2
ГОСТ 11534—75	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры	5.4.2

Продолжение

Обозначение документа	Наименование	Номер пункта РТМ
ГОСТ 12169—82	Заготовки стальные, вырезанные кислородной резкой. Припуски	8.2.3
ГОСТ 13585—68	Сталь. Метод валиковой пробы для определения допускаемых режимов дуговой сварки и наплавки	6.2.2
ГОСТ 14771—76	Швы сварных соединений. Электродуговая сварка в защитных газах. Основные типы и конструктивные элементы	4.9, 5.4.2
ГОСТ 14892—69	Машины, приборы и другие технические изделия, предназначенные для эксплуатации в районах с холодным климатом. Общие технические требования	2.3.1
ГОСТ 15164—78	Сварные соединения и швы. Электрошлаковая сварка. Основные типы и конструктивные элементы	5.4.2
ГОСТ 15873—80	Соединения сварные, выполняемые контактной электросваркой. Основные типы и конструктивные элементы	5.4.2
ГОСТ 16037—80	Швы сварных соединений стальных трубопроводов. Основные типы и конструктивные элементы	5.4.2
ГОСТ 16319—80	Цепи размерные. Основные положения. Термины, обозначения и определения	8.1.5
ГОСТ 16320—80	Цепи размерные. Расчет плоских цепей	8.1.5, 8.7.1
ГОСТ 24643—81	Отклонения формы и расположения поверхностей	8.1.1
ГОСТ 24663—81	Котлы паровые и водогрейные. Требования к сварке сталей	1.4, 3.5, 5.1.3, 5.8.1
ГОСТ 26389—84	Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию горячих трещин при сварке плавлением	6.2.3
ГОСТ 26388—84	Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке плавлением	6.2.3
ОСТ 26.291—79	Сосуды и аппараты сварные стальные. Технические требования	5.9.1

Продолжение

Обозначение документа	Наименование	Номер пункта РТМ
ОСТ 108.030.30—79	Котлы паровые стационарные. Стальные конструкции. Общие технические условия	2.2.2, 3.6.1, 8.1.6
ОСТ 108.030.39—80	Барабаны сварные стационарных котлов. Общие технические условия	3.6.1
ОСТ 108.030.129—79	Фасонные детали и сборочные единицы станционных и турбинных трубопроводов тепловых электростанций. Общие технические условия	5.4.2
ОСТ 108.031.02—75	Котлы стационарные паровые и водогрейные и трубопроводы пара и горячей воды. Нормы расчета на прочность	1.3, 4.10, 6.1.6
ОСТ 108.210.01—76	Диафрагмы сварные паровых стационарных турбин. Расчет на статическую прочность	4.3
ОСТ 108.940.102—87	Котлы паровые и водогрейные стационарные и трубопроводы пара и горячей воды. Сварка и термическая обработка сварных соединений, работающих под давлением. Общие технические требования	1.4, 2.1.1, 3.6.1, 3.6.6, 7.2.1, 7.2.2
ОСТ 108.940.103—87	Котлы паровые и водогрейные стационарные и трубопроводы пара и горячей воды. Сварные соединения. Правила контроля	1.5, 6.1.2, 9.3.1, 9.3.2
РТМ 108.020.05—75	Исправление дефектов в литых корпусных деталях турбин и паровой арматуры методом заварки без термической обработки	5.10.1
РТМ 108.031.105—77	Котлы стационарные паровые и водогрейные и трубопроводы пара и горячей воды. Метод оценки долговечности при малоцикловой усталости и ползучести	4.17
РТМ 108.940.03—83	ОСТПП. Турбины паровые газовые и гидравлические. Корпусные конструкции. Основные положения по сварке	1.4, 3.6.1
РТМ 24.911.01—73	Применение полуспокойной углеродистой стали обыкновенного качества	2.2.2

Продолжение

Обозначение документа	Наименование	Номер пункта РТМ
РТМ 26.27—70	Сварка электродуговая ручная и автоматическая под флюсом сосудов и аппаратов из углеродистых и низколегированных сталей повышенной прочности	5.4.2
ОП 1513—72	Основные положения по сварке и наплавке узлов и конструкций атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов	5.3.1, 5.10.7
	Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. Госгортехнадзор СССР, 1977 г.	1.3, 1.5, 2.1.1, 2.2.2, 3.6.1, 5.2.4, 6.1.2, 9.3.1
	Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды. Госгортехнадзор СССР, 1970 г.	1.3, 1.5, 2.1.1, 2.2.2, 3.6.1, 5.2.4, 6.1.2, 9.3.2
ТУ 14—1—3023—80	Прокат листовой, широкополосный универсальный и фасонный из углеродистой и низколегированной стали с гарантированным уровнем механических свойств, дифференцированным по группам прочности	2.2.3
СНиП-II-23—81	Нормы проектирования. Стальные конструкции. Москва. Стройиздат, 1982 г.	2.2.6

СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные положения 1
2. Материалы для сварных конструкций 2
3. Выбор вида сварки и сварочных материалов 11
4. Требования к расчету сварных соединений и конструкций 25
5. Конструктивно-технологические факторы при проектировании сварных конструкций энергетического оборудования 34
6. Методы испытаний и критерии оценки работоспособности сварных соединений 46
7. Термическая обработка сварных конструкций 54
8. Точность изготовления сварных соединений 64
9. Контроль качества сварных соединений 70

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ РТМ 108.940.08—85

Изм.	Номера листов (страниц)				Номер документа	Подпись	Дата	Срок введения изменения
	измененных	замененных	новых	аннулированных				

Технический редактор *А. Н. Крупенева* Корректор *Г. Д. Семенова*

Слано в набор 19.01.87. Подписано к печ. 13.05.87. Формат бум. 60×90¹/₁₆
Объем 0 печ. л. Тираж 1000. Заказ 57. Цена 1 руб.

НПО ЦКТИ. 194021, Ленинград, Политехническая ул., д. 24

gost.e-ecolog.ru