# 2. ПРАВИЛА ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛА И ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЛОВ И ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

## 2.1 Общие требования

Приказ Ростехнадзора от 15 декабря 2020 г. № 535 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила осуществления эксплуатационного контроля металла и продления срока службы основных элементов котлов и трубопроводов тепловых электростанций» устанавливает требования, направленные на обеспечение промышленной безопасности, предупреждение аварий, инцидентов, производственного травматизма при использовании на опасных производственных объектах тепловых электростанций (ТЭС) оборудования энергетических установок, работающего под избыточным давлением более 4,0 МПа.

ФНП предназначены для применения при проведении технического освидетельствования, технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности следующего оборудования ТЭС:

а) паровых котлов, в том числе котлов-утилизаторов парогазовых установок, а также автономных пароперегревателей и экономайзеров;

б) трубопроводов пара и горячей воды.

ФНП предназначены для применения при проведении технического освидетельствования, технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности следующего оборудования ТЭС:

а) паровых котлов, в том числе котлов-утилизаторов парогазовых установок, а также автономных пароперегревателей и экономайзеров;

б) трубопроводов пара и горячей воды.

Требования ФНП обязательны для исполнения всеми организациями независимо от их организационно-правовых форм, индивидуальными предпринимателями (организации) и их работниками, осуществляющими на территории Российской Федерации и на иных территориях эксплуатацию опасных производственных объектов (эксплуатирующая организация), техническое освидетельствование, техническое диагностирование оборудования и проведение экспертизы промышленной безопасности.

Безопасность эксплуатации оборудования тепловых электростанций (ТЭС), обеспечивается путём соблюдения организациями и их работниками требований промышленной безопасности.

ФНП «Правила осуществления эксплуатационного контроля металла и продления срока службы основных элементов котлов и трубопроводов тепловых электростанций» регламентируют процедуру, включая методы, периодичность и объём эксплуатационного контроля оборудования ТЭС, в пределах назначенного (расчетного) срока службы (ресурса) и по его достижению, а также устанавливают требования по оценке состояния металла основных элементов этого оборудования на основании результатов контроля и порядок продления его эксплуатации сверх срока службы (ресурса).

Эксплуатационный контроль металла оборудования, выполняется в соответствии с положениями ФНП в плановом порядке согласно регламенту (программе) во временном интервале со дня ввода его в эксплуатацию и до окончания назначенного (расчетного) ресурса (срока службы).

По достижении назначенного срока службы или ресурса (по времени или количеству циклов нагружения) оборудования, указанного в технической документации, проводится его техническое диагностирование, включая неразрушающий, разрушающий контроль в рамках экспертизы промышленной безопасности. Экспертиза промышленной безопасности и продление срока службы оборудования выполняются организацией, имеющей лицензию на проведение экспертизы промышленной безопасности.

Для отдельных элементов или групп элементов в составе конкретного технического устройства могут быть дополнительно установлены собственные значения назначенного ресурса (или срока службы), которые могут отличаться от назначенного срока службы (ресурса) технического устройства. Контроль таких элементов, помимо технического диагностирования в рамках экспертизы промышленной безопасности оборудования, проводится с учётом установленных для них сроков в соответствии с требованиями ФНП. Результаты контроля элементов учитываются при проведении экспертизы промышленной безопасности, в том числе при определении объёма подлежащих выполнению работ.

Эксплуатационный контроль проводится в целях оценки состояния металла и возможности дальнейшей эксплуатации элементов и деталей оборудования, для обеспечения их надёжной эксплуатации до даты проведения очередного контроля (технического диагностирования (ТД)) или экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ) с выполнением ТД.

Элементы оборудования считаются пригодными к дальнейшей эксплуатации, если по результатам контроля подтверждается, что состояние основного и наплавленного металла удовлетворяет требованиям ФНП и не выходит за пределы минимальных значений, установленных расчётами на прочность.

Контроль металла оборудования на ТЭС осуществляется эксплуатирующей организацией находящейся в её составе лабораторией неразрушающего, разрушающего контроля (при наличии) или лабораториями других организаций. Для технического диагностирования, неразрушающего контроля, разрушающего контроля технических устройств при проведении экспертизы промышленной безопасности экспертной организацией также может быть привлечена соответствующая лаборатория эксплуатирующей организации.

Лаборатория неразрушающего контроля может выполнять только те виды контроля на конкретных видах (типах) оборудования, в отношении которых она обладает компетенцией, соответствующей профилю выполняемых работ и виду оборудования, а также располагает необходимым для этого количеством работников соответствующей квалификации и комплектом измерительных, диагностических приборов и устройств.

Эксплуатационный контроль проводится во время плановых остановов оборудования. Допускается смещение сроков контроля оборудования или групп элементов оборудования в большую сторону на 5% от соответствующего назначенного ресурса, указанного в технической документации.

Решение о смещении сроков эксплуатационного контроля для групп элементов оборудования, не отработавших назначенный ресурс, или элементов, для которых назначенный ресурс не устанавливается, принимается руководителем эксплуатирующей организации.

Решение о смещении сроков контроля в большую сторону для оборудования или групп элементов оборудования, отработавших назначенный ресурс, принимается руководителем организации, эксплуатирующей оборудование на основании положительного заключения специализированной научно-исследовательской организации, осуществляющей деятельность по проведению научных исследований и разработок, располагающей условиями и компетенцией для выполнения специализированных работ по обеспечению промышленной безопасности тепловых электрических станций, а также лицензией на осуществление деятельности по проведению экспертизы промышленной безопасности.

Оборудование может быть допущено к эксплуатации, если по результатам контроля состояние металла и сварных соединений соответствует приведённым ниже нормам и критериям качества. В случае отклонения результатов контроля металла от приведённых норм возможность и условия эксплуатации оборудования, в том числе проведение дополнительного объема контроля металла обосновываются и устанавливаются специализированной экспертной организацией.

При оценке фактического состояния оборудования, изготовленного в соответствии с требованиями технического регламента Таможенного Союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013), а также должны учитываться критерии предельных состояний оборудования и его элементов, указанные изготовителем в руководстве (инструкции) по эксплуатации.

Эксплуатирующая организация должна организовать учёт температурного режима работы металла теплоэнергетического оборудования и систематическую обработку суточных графиков температур пара за каждым котлом и в паропроводах. По всем паропроводам с температурой пара 450°С и выше должны учитываться продолжительность и величина превышения температуры на каждый пятиградусный интервал сверх номинального уровня. Учёт температуры и продолжительности (в часах) эксплуатации паропроводов следует проводить по каждому самостоятельному участку (с собственным регистрационным номером), а также перед впрыскивающими пароохладителями котлов.

Ответственным за организацию и выполнение эксплуатационного контроля металла в объёмах и в сроки, указанные в ФНП «Правила осуществления эксплуатационного контроля металла и продления срока службы основных элементов котлов и трубопроводов тепловых электростанций», является технический руководитель эксплуатирующей организации.

Возможность и срок дальнейшей безопасной эксплуатации оборудования ТЭС после выработки им своего назначенного ресурса (срока службы) устанавливаются на основании результатов технического диагностирования в объеме ЭПБ, которую проводит экспертная организация, обладающая лицензией на осуществление деятельности по проведению экспертизы промышленной безопасности.

Возможность продления и условия безопасной эксплуатации оборудования сверх назначенного ресурса (срока службы) формулируются в выводах заключения ЭПБ на основании оценки фактического технического состояния оборудования и принятого решения о соответствии или несоответствии объекта экспертизы требованиям промышленной безопасности.

При обнаружении по результатам эксплуатационного контроля в отдельных элементах или узлах оборудования недопустимых дефектов металла (дефектов, по своему характеру и (или) размерам, и (или) форме, и (или) местоположению нарушающих условия безопасной эксплуатации при установленных расчётных или эксплуатационных характеристиках) повреждённые детали и элементы должны быть заменены или отремонтированы. При этом в порядке, установленном распорядительными документами эксплуатирующей организации, должны быть приняты меры по определению характера дефектов и причин их возникновения. Для этих целей по решению технического руководителя эксплуатирующей организации может быть привлечена экспертная или специализированная научно-исследовательская организация.

Допускается использование инструкций (руководств) по эксплуатационному контролю металла оборудования конкретной электростанции, разработанных специализированной научно-исследовательской организацией на основе типовых программ с учётом индивидуальных особенностей оборудования конкретной ТЭС, которые могут отличаться в части объёма и периодичности контроля от типовых программ (инструкций) и с целью информирования направляются в Ростехнадзор. Пересмотр инструкций (руководств) по эксплуатационному контролю металла должен проводиться в порядке и с периодичностью, установленными распорядительными документами эксплуатирующей организации, а также в случае изменения объёма или видов контроля, в том числе при выявлении дефектов, вызывающих необходимость таких изменений.

Порядок эксплуатационного контроля и продления срока службы (ресурса) элементов оборудования, изготовленных из новых отечественных сталей или сталей иностранного производства, которые не указаны в ФНП, определяется эксплуатирующей организацией на основании заключения экспертной или специализированной научно-исследовательской организации, которое должно содержать индивидуальную программу эксплуатационного контроля указанных элементов оборудования, и с целью информирования направляется в Ростехнадзор.

## 2.2 Организации и проведению эксплуатационного контроля

Применяемые на ТЭС методы и объёмы контроля должны гарантировать выявление недопустимых дефектов и отклонений в металле и сварных соединениях элементов оборудования (в пределах возможностей применяемых методов) для обеспечения последующей безопасной и надёжной эксплуатации оборудования.

Аппаратура, средства контроля, средства измерений, испытательная техника (машины), контрольно-измерительный инструмент и настроечные (стандартные) образцы должны иметь технические паспорта (документ изготовителя с техническими характеристиками) и подтверждения о прохождении поверки, калибровки или аттестации на основании нормативных документов, разработанных и применяемых в соответствии с законодательством Российской Федерации о промышленной безопасности, техническом регулированию, стандартизации и единстве средств измерений (НД).

Материалы для дефектоскопии (порошки, суспензии, пенетранты, радиографические пленки, химические реактивы) должны иметь сертификаты качества. Каждая партия материалов должна быть подвергнута входному контролю и своевременному контролю в процессе использования.

Лаборатории ***неразрушающего и (или) разрушающего контроля*** должны быть обеспечены нормативно-технической документацией в полном объёме согласно профилю и номенклатуре работ лаборатории.

Работники лабораторий контроля должны пройти теоретическую и практическую подготовку и аттестацию на предмет подтверждения компетенции видам выполняемых работ (методов контроля) и нормативной документации, определяющей безопасные методы проведения контроля.

К работам по контролю допускаются специалисты-дефектоскописты и инженерно-технические работники, прошедшие подготовку (аттестацию) и имеющие документ, подтверждающий область компетенции по результатам аттестации. При перерыве в работе более шести месяцев должна быть проведена внеочередная аттестация. Порядок проведения подготовки и аттестации определяется распорядительными документами организации.

Организация работ по подготовке оборудования к контролю и обеспечению его проведения осуществляется техническим руководителем эксплуатирующей организации.

Перед проведением контроля для обеспечения качества его выполнения для рассмотрения должна быть представлена техническая и эксплуатационная документации на подлежащий контролю объект, а именно:

- исполнительные схемы, сварочные (ремонтные) формуляры, чертежи, эскизы;

- сведения о повреждениях, отказах, авариях и проведённых заменах элементов в составе контролируемого объекта;

- результаты предшествующего контроля.

При эксплуатационном контроле должна быть обеспечена безопасность его проведения в зависимости от конкретного места и условий выполнения работ (на высоте, внутри оборудования или его элемента) и применяемых при этом методов контроля методов, в объёме, установленном инструкциями и распорядительными документами организации с учётом требований ФНП и руководств (инструкций) по эксплуатации оборудования.

При размещении, хранении, транспортировании и использовании дефектоскопических и вспомогательных материалов, отходов производства следует обеспечивать меры безопасности, указанные в документации их производителя с учётом их свойств и характеристик.

Контроль за металлом непосредственно на оборудовании должен выполняться бригадой в составе не менее двух человек. При работе в замкнутом объёме (внутри барабанов) состав бригады должен быть не менее трёх человек, при этом двое членов бригады должны находиться снаружи и страховать выполняющего контроль работника. При работе в топках котлов двое членов бригады должны находиться внутри топки и один страхующий снаружи.

Неразрушающий контроль оборудования следует проводить после прекращения его работы, сброса давления, охлаждения, дренирования, отключения от другого (технологически связанного) оборудования. Внутренние устройства, препятствующие проведению контроля, должны быть удалены, изоляционное покрытие и обмуровка, препятствующие контролю состояния металла и сварных соединений, частично или полностью сняты в местах, подлежащих контролю.

**Неразрушающий контроль**

Перед проведением неразрушающего контроля (далее - НК) поверхность элементов в зоне контроля должна быть очищена от загрязнений, препятствующих проведению контроля, и должна быть зачищена до чистого металла. При этом толщина стенки контролируемого элемента не должна уменьшаться за пределы допускаемых отклонений и не должны образовываться недопустимые согласно требованиям ФНП «Правила осуществления эксплуатационного контроля металла и продления срока службы основных элементов котлов и трубопроводов тепловых электростанций» и нормативной документации дефекты (глубокие риски, царапины, надрывы). Перед выполнением магнитного контроля тепловой неравномерности и ферритометрии зачистка металла не проводится.

Основными методами, видами неразрушающего контроля металла и сварных соединений являются:

- визуально-измерительный;

- ультразвуковой;

- радиографический;

- магнитопорошковый;

- капиллярный или как разновидность капиллярного - цветной;

- вихретоковый;

- измерение твёрдости;

- стилоскопирование;

- магнитный контроль тепловой неравномерности и магнитная ферритометрия;

- металлографический контроль.

Другие методы неразрушающего контроля применяются при условии их стандартизации и сертификации средств контроля в соответствии с законодательством Российской Федерации.

***Визуальный и измерительный контроль*** (ВИК) проводят с целью обнаружения и определения размеров поверхностных дефектов, образовавшихся на наружной или (и) внутренней (в зависимости от объекта контроля) поверхностях элементов оборудования и отклонений геометрических параметров элементов оборудования, в том числе:

- трещин, в том числе образующихся в местах геометрической, температурной и структурной неоднородности;

- коррозионных, коррозионно-эрозионных и коррозионно-усталостных повреждений металла;

- эрозионного, эрозионно-кавитационного износа поверхностей элементов оборудования;

- дефектов сварки в виде трещин, пор, свищей, подрезов, прожогов, незаплавленных кратеров, чешуйчатости поверхности, несоответствия размеров швов требованиям технической документации;

- выходящих на поверхность расслоений;

- изменений геометрических размеров и формы основных элементов оборудования по отношению к первоначальным (проектным) их геометрическим размерам и форме.

По результатам визуально-измерительного контроля может быть уточнена (дополнена) программа неразрушающего контроля объекта.

***Ультразвуковой контроль*** (УЗК) применяется для выявления дефектов в основном и наплавленном (в сварных соединениях) металле, а также для измерения толщины стенки (толщинометрии) деталей.

УЗК служит для обнаружения внутренних дефектов в основном металле и металле сварных соединений, в том числе дефектов на внутренней поверхности элементов.

При проведении ультразвуковой дефектоскопии основных элементов и деталей оборудования, контролю подлежат:

- основной металл гнутых, штампованных и штампосварных колен (отводов) трубопроводов;

- наружная и внутренняя поверхность корпусов пароохладителей и пусковых впрысков, в том числе в местах врезки впрыскивающих устройств;

- наружная и внутренняя поверхность камер коллекторов и труб в местах врезки штуцеров;

- основной металл и резьбовая поверхность деталей крепежа (шпильки, болты) диаметром М42 и более;

- стыковые кольцевые (поперечные) сварные соединения трубопроводов, коллекторов и труб поверхностей теплообмена;

- продольные стыковые сварные соединения штампосварных колен трубопроводов;

- стыковые кольцевые и продольные сварные соединения обечаек и днищ барабанов;

- кольцевые угловые сварные соединения с полным проплавлением с толщиной стенки от 4,5 мм;

- наплавки на участках ремонта сварных соединений или на основном металле элементов.

***Ультразвуковой толщинометрии*** (далее - УЗТ) подвергаются следующие элементы и детали тепломеханического оборудования:

- участки трубопроводов, коллекторов и труб поверхностей теплообмена, а также дренажных и сбросных трубопроводов;

- патрубки за арматурой (задвижками, отсечными и регулирующими клапанами) и дросселирующими устройствами;

- гнутые, штампованные и штампосварные отводы трубопроводов;

- барабаны котлов.

При толщинометрии определяется соответствие толщины стенок элементов исполнительным (паспортным) размерам, выявляются участки коррозионных и эрозионных поражений и определяется величина утонения.

***Магнитопорошковый контроль (дефектоскопия)*** (МПК (МПД)) является разновидностью магнитного вида контроля, основанного на фиксации изменений магнитных характеристик материала под действием внешнего магнитного поля.

Магнитный контроль выявляет поверхностные несплошности типа трещин, надрывов, закатов, раковин, несплавлений.

***Капиллярный контроль*** является методом контроля проникающими веществами, основанным на свойстве смачивающих жидкостей активно проникать в мелкие открытые полости (капилляры) на поверхности деталей.

***Вихретоковый контроль*** (ВТК) применяется на изделиях и деталях, изготовленных из металла (ферромагнитных и неферромагнитных сталей, сплавов) с удельной электрической проводимостью от 0,5 до 60 МСм/м.

Вихретоковый контроль выявляет поверхностные несплошности типа трещин, надрывов, закатов, раковин, пор, несплавлений. При определённых условиях могут быть выявлены подповерхностные трещины на глубине до 3 или 4 мм.

***Магнитный контроль тепловой неравномерности*** (МКТН) и магнитная ферритометрия (далее - МФ) предназначены для выявления тепловой неравномерности поверхностей нагрева из перлитных (низколегированных или углеродистых) и аустенитных сталей соответственно пароперегревательного тракта котлов.

В рамках неразрушающего контроля ***измерение твёрдости*** (ТВ) металла проводится переносными твердомерами непосредственно на объекте.

В качестве аппаратуры для определения твёрдости используют переносные приборы механического, физического и физико-механического действия.

Прибор должен обеспечивать погрешность измерения не более ±5%.

При использовании приборов механического типа (статического и динамического действия) размер отпечатка измеряют с помощью переносного микроскопа (лупы) с погрешностью измерения не выше ±0,02 мм.

***Металлографическое исследование*** (МИ) металла в рамках неразрушающего контроля выполняется следующими методами:

- приготовлением металлографических шлифов непосредственно на поверхности контролируемых элементов оборудования с последующим просмотром, фотографированием и анализом микроструктуры с помощью переносных мобильных металлографических микроскопов;

- снятием реплик (оттисков) с подготовленных на поверхности деталей металлографических шлифов и последующим анализом микроструктуры на репликах в металлографической лаборатории;

- отбором локальных выборок металла (сколов, спилов, срезов), не нарушающих целостность и работоспособность элемента, с последующим приготовлением шлифа и анализом микроструктуры в металлографической лаборатории.

Для ***определения химического состава металла*** при проведении неразрушающего контроля используются переносные мобильные приборы оптико-эмиссионного или рентгенофлуоресцентного принципа действия.

***Разрушающий контроль металла:***

*1. Требования к проведению вырезок металла (отбору проб) и изготовлению образцов.*

В случае необходимости проведения исследований металла на вырезке выполняют отбор проб.

При отборе проб металла из поверхностей нагрева котлов места вырезок должны соответствовать зонам с наибольшей повреждаемостью и с максимальной плотностью теплового потока или (и) температурой пара. Следует при этом учитывать результаты магнитного контроля (МКТН) для сталей перлитного класса и ферритометрии для аустенитных сталей, а также результаты ультразвуковой толщинометрии. Вырезку следует выполнять механическим способом. Допускается осуществлять вырезку огневым способом с последующим механическим удалением слоя металла от кромки реза шириной не менее 20 мм.

Вырезку пробы из трубопровода (паропровода) следует выполнять механическим способом. Допускается проводить вырезку огневым способом с применением электродуговой или газовой резки при условии последующего удаления механическим способом слоя металла от кромки реза шириной не менее 30 мм. Следует вырезать участок трубопровода, содержащий фрагменты прямой трубы и гиба, включая их сварное соединение. Вырезаемая проба должна быть предварительно замаркирована таким образом, чтобы при последующей механической обработке (разделке) была возможность идентификации металла прямой трубы и гиба.

Вырезку пробы металла (пробки) из барабана следует выполнять механическим способом. Не следует производить вырезку «пробок» диаметром более 100 мм.

Место вырезки пробки обосновывается расчётом на прочность. После вырезки пробы следует указать на чертеже развёртки корпуса барабана (или формуляре) размеры вырезанного отверстия и расстояния от его центра до середины ближайшего сварного шва и центров ближайших трубных отверстий.

Вырезаемые из труб поверхностей нагрева котлов пробы (патрубки) должны иметь длину, достаточную для проведения необходимого комплекса исследований:

-металлографического анализа;

- химического и карбидного анализа металла;

- проведения при необходимости механических и жаропрочных испытаний.

Для труб из аустенитных сталей карбидный анализ не проводится.

Образцы для испытаний по определению механических свойств и длительной прочности (жаропрочности) вырезают вдоль оси трубы - сегментные образцы, при этом поверхностные слои металла остаются нетронутыми.

Образцы для механических испытаний, изготавливаемые из проб, вырезанных из трубопроводов, следует размещать в тангенциальном направлении (по окружности сечения трубы). Образцы для испытаний на длительную прочность (и ползучесть) металла следует размещать в тангенциальном направлении, если это позволяют размеры вырезанной пробы. В противном случае образцы располагают вдоль оси трубы. Образцы для механических испытаний и испытаний на длительную прочность сварных соединений располагают вдоль оси трубы. Следует размещать образцы по возможности ближе к наружной поверхности трубы (если это не противоречит конкретной задаче исследования).

Образцы для механических испытаний и испытаний на длительную прочность, вырезаемые из центробежнолитых (ЦБЛ) труб, следует размещать в зонах, максимально приближенных к внутренней поверхности трубы.

Для исследования металла гнутого колена проба отбирается (вырезается) из центральной части колена (гиба). В этом случае образцы для исследований как поперечные, так и продольные вырезают из половины пробы, соответствующей наружному обводу гиба, включающей полностью растянутую зону и частично две нейтральные зоны.

Образцы для металлографических исследований металла трубопроводов, включая анализ микроструктуры и микроповреждённости, вырезаются на всю толщину стенки трубы (гиба) (ограничиваются внутренней и наружной поверхностями трубы).

Вырезанная из барабана цилиндрическая проба разрезается на несколько слоев (дисков), толщина которых должна обеспечить изготовление стандартных образцов на разрыв и ударный изгиб. Продольные оси образцов располагают параллельно продольной оси барабана.

*2. Исследование макроструктуры*

Исследование макроструктуры металла и сварных соединений проводят при небольших увеличениях (не более чем в 30 раз). В зависимости от задачи исследования макроструктурному анализу подвергают поверхности элементов оборудования: макрошлифы, изломы.

Поверхности деталей исследуют для выявления металлургических, технологических и эксплуатационных макродефектов после зачистки поверхностей абразивным инструментом.

Макрошлифы, подготовка которых ограничивается стадией тонкого шлифования, анализируют для выявления дефектов макроструктуры типа пустот, раковин, газовых пузырей, трещин. Для анализа макроструктуры металла, обнаружения ликвационных неоднородностей, неявно выраженных трещин, надрывов, несплавлений, расслоений, пористости исследуют макрошлифы, подвергнутые травлению специальными реактивами.

Исследования структуры поверхности изломов (фрактографические исследования), образовавшихся при разрушении деталей в процессе эксплуатации или испытываемых образцов, выполняют для установления причин и механизмов разрушения, в том числе оценки качества изготовления элементов.

*3. Исследование микроструктуры*

Исследование микроструктуры металла проводится для: выявления неметаллических включений; определения размеров зерна и рекристаллизации; оценки наличия и распределения фаз, их ориентации и изменений в зависимости от технологии изготовления и воздействия условий эксплуатации; изучения формы и природы отдельных кристаллитов; выявления особенностей возникновения и распространения повреждений. Качественный анализ микроструктуры проводят на шлифах при увеличениях от 100 до 1500 (2000) крат с помощью оптических микроскопов.

Для выявления распределения графита в микроструктуре основного металла и зон сварных соединений трубопроводов (и коллекторов), работающих при температуре выше 390°С и изготовленных из углеродистых и молибденовых (15М, 16М) сталей, применяется травление слабым раствором азотной кислоты с добавлением пикриновой кислоты в этиловом спирте в случае, если необходимый результат не может быть достигнут применением слабого раствора азотной кислоты.

При контроле состояния металла на наличие структурно свободного графита в первую очередь контролируют зону термического влияния (далее - ЗТВ) сварных соединений.

Выделение графита (если оно произошло) обнаруживается также на нетравленых полированных (до зеркального блеска) шлифах при 500-кратных увеличениях в виде отдельных глобулей.

Для выявления границ зёрен и составляющих структуры (феррита, перлита, бейнита, мартенсита, аустенита, карбидов, сигма-фазы) проводят травление с применением специальных реактивов.

Микроструктурный анализ металла ЦБЛ труб из стали 15Х1М1Ф проводится на шлифах поперечного сечения стенок труб как в зонах с нормальным структурным состоянием, так и в ликвационной зоне, примыкающей к внутренней поверхности трубы, для выявления степени развития ликвационной структуры и фиксирования микродефектов технологического происхождения.

Оценка результатов исследования микроструктуры проводится по эталонным шкалам национальных стандартов, технических условий на изготовление и шкалам приложений к ФНП.

Стадию процесса графитизации в основном металле и сварных соединениях трубопроводов, работающих при температуре выше 390°С и изготовленных из углеродистых и молибденовых (15М, 16М) сталей, оценивают при 500-кратном увеличении микроскопа, по шкале графитизации.

Оценку стадии процесса сфероидизации перлита углеродистых и низколегированных сталей, обусловленного эксплуатацией, проводят при 1000-кратном увеличении микроскопа по шкале сфероидизации перлита в углеродистых и низколегированных сталях.

*4. Исследование микроповреждённости структуры*

Для выявления микроповреждённости порами ползучести основного металла и зон сварных соединений высокотемпературных элементов оборудования, на вырезанном образце приготавливается шлиф и применяется многократная полировка и травление шлифа образца. На шлифе чередование травления и полирования проводят до состояния выявляемости пор при 500-1000-кратных увеличениях микроскопа. Для получения чистой травленой поверхности предварительную и конечную обработку образца проводят чистым этиловым спиртом.

Исследование микроповреждённости металла прямых труб и гибов паропроводов следует выполнять по сечению всей толщины стенки от наружной до внутренней поверхности.

Участком исследования микроповреждённости сварных соединений служит металл шва (МШ), зона термического влияния (далее - ЗТВ) и основной металл. В ЗТВ особое внимание следует уделять исследованию разупрочнённой прослойки металла, расположенной на расстоянии 2-4 мм от линии сплавления. Разупрочнённую прослойку металла ЗТВ следует выявлять предварительно при 100-кратном увеличении, исследование микроповреждённости ЗТВ проводят при увеличениях от 500 до 1000 крат.

Участками исследования микроповреждённости на образцах поперечного сечения стенок ЦБЛ труб из стали 15Х1М1Ф служат как зона металла с основной структурой, так и зона металла с ликвационной структурой, примыкающая к внутренней поверхности трубы.

Оценку стадии микроповреждённости металла порами ползучести для сталей перлитного класса проводят:

- основного металла труб (гибов) - по шкале микроповреждённости сталей перлитного класса;

- основного металла ЦБЛ труб из стали 15Х1М1Ф - по шкале микроповреждённости;

- ЗТВ разупрочнённой прослойки сварных соединений - по шкале микроповреждённости металла ЗТВ сварных соединений паропроводов из стали 12Х1МФ и по шкале микроповреждённости металла ЗТВ сварных соединений паропроводов из стали 15Х1М1Ф.

Анализ степени микроповреждённости металла порами ползучести для хромистых сталей мартенситного (феррито-мартенситного) класса выполняют:

- основного металла труб (гибов) из стали 10Х9МФБ (ДИ82) и Х10CrMoVNb9-1 (Р91 или Т91) - по шкале микроповреждённости металла труб из сталей марок Р91 (Х10CrMoVNb9-1) и ДИ82 (10Х9МФБ);

- ЗТВ сварных соединений - по шкале микроповреждённости металла зон сварных соединений из сталей марок Р91 (Х10CrMoVNb9-1) и ДИ82 (10Х9МФБ) с использованием хромистых сварочных материалов (CrMo91/10Х9М1Ф);

- зон разнородных сварных соединений - по шкале микроповреждённости металла зон разнородных сварных соединений.

*5. Определение механических свойств материалов (механические испытания)*

К основным механическим свойствам материалов относятся прочностные характеристики, пластические характеристики, твёрдость, ударная вязкость и другие.

Механические свойства определяются по результатам испытаний:

- статических испытаний на растяжение стандартных образцов металла при комнатной и повышенной температурах;

- статических испытаний на растяжение образцов труб при комнатной и повышенной температурах;

- испытаний на ударный изгиб стандартных образцов металла при комнатной, повышенной и пониженной температурах;

- статических испытаний на растяжение и испытаний на ударный изгиб образцов сварных соединений при комнатной, повышенной и пониженной температурах;

- испытаний по определению твёрдости металла.

Испытания на растяжение стандартных образцов проводят при комнатной температуре и повышенной температуре, соответствующей рабочей температуре исследуемого металла (с округлением в большую сторону до температуры, кратной 5°С), с соблюдением следующих основных требований:

а) типы и размеры пропорциональных цилиндрических и плоских образцов на растяжение, а также требования к качеству их изготовления должны отвечать соответствующим стандартам;

б) форма, размеры изготавливаемых образцов и их количество определяются программой исследования с учётом максимально полного решения поставленных перед исследованием задач и возможностей (нередко ограниченных) по объёму вырезанной пробы. Следует при каждой заданной программой испытаний температуре испытывать не менее трёх образцов;

в) испытания проводят на разрывных и универсальных испытательных машинах всех систем (механических, электромеханических, гидравлических, сервогидравлических) при условии соответствия их технических характеристик необходимым условиям испытаний, а также поддержания и регистрации механических параметров испытаний с заданной точностью;

г) характеристики нагревательных устройств (печей), термодатчиков, регулирующих и регистрирующих приборов должны обеспечивать реализацию температурного режима испытаний с заданной точностью;

д) по результатам статических испытаний на растяжение определяют:

- предел текучести физический или условный;

- временное сопротивление разрыву (предел прочности);

- относительное удлинение;

- относительное сужение поперечного сечения.

Испытания на растяжение трубных образцов проводят при комнатной и повышенной температурах, последняя из которых соответствует эксплуатационной температуре металла (с округлением в большую сторону до температуры, кратной 10°С).

Для трубных образцов требования к порядку проведения испытаний на растяжение и обработке их результатов, а также требования к испытательной технике и средствам измерений аналогичны требованиям к таковым испытаниям стандартных образцов металла.

Трубные образцы изготавливают в осевом (продольном) направлении на всю толщину трубы (сегментные образцы) так, что две противоположные поверхности образца являют собой наружную и внутреннюю поверхности трубы. Эти поверхности должны быть очищены от загрязнений и механической обработке могут не подвергаться.

Испытания на ударный изгиб, заключающиеся в разрушении призматических образцов с концентратором посредине ударным нагружением, выполняют на образцах, стандартизированных по типам, (по конфигурации (включая форму концентратора) и размерам).

Изготавливаемые образцы следует маркировать (клеймить) с двух концов на торцах или на гранях, исключая грань, на которую наносится надрез, на расстоянии не более 15 мм от торца образца. В случае клеймения ударным способом маркировка должна наноситься до выполнения надреза.

Испытания на ударный изгиб проводят на маятниковых копрах. Технические характеристики маятниковых копров, крио- и термокамер, аппаратуры и средств измерений должны обеспечивать заданные параметры испытаний с достаточной точностью.

При каждой заданной программой испытаний температуре должны испытывать не менее трёх образцов. Допускается в обоснованных случаях испытывать при каждой температуре два образца.

По результатам испытаний определяют для каждого образца ударную вязкость (удельную энергию разрушения). В случае, если программой исследования предусмотрено установление критической температуры хрупкости металла, процентное соотношение долей вязкой и хрупкой составляющих в изломах образцов определяют на разрушенных образцах с концентратором вида V (тип «Шарпи»).

Измерения твёрдости металла в стационарных условиях следует проводить стандартными методами: по Бринеллю, по Виккерсу или по Роквеллу.

Испытания проводят при комнатной температуре. При изготовлении образцов и подготовке поверхности для контроля следует исключать возможность изменения поверхностных свойств металла вследствие нагрева или наклёпа. Рабочая и противоположная поверхности образца должны быть параллельными в случае измерения твёрдости на плоских поверхностях.

Соотношение толщины образца и нагрузки должно быть таковым, чтобы на обратной поверхности (стороне) образца отсутствовали заметные невооружённым глазом следы деформации от воздействия на металл индентора.

При измерении твёрдости по Бринеллю расстояние между краями двух соседних отпечатков должно быть не менее трёх диаметров отпечатков, а расстояние от края отпечатка до края образца - не менее 2,5 диаметра отпечатка. При измерении твёрдости по Виккерсу расстояние от центра отпечатка до края соседнего отпечатка или до края образца должно быть не менее 2,5 длины диагонали отпечатка. При измерении твёрдости по Роквеллу расстояние между центрами двух соседних отпечатков или от центра отпечатка до края образца должно быть не менее 3,0 мм.

Для получения представительной характеристики твёрдости (в том числе для конкретной зоны образца) должно быть проведено не менее трёх измерений. В обоснованных случаях число измерений может быть сокращено. За результирующую величину твёрдости принимается среднее значение по результатам нескольких измерений.

Определение механических свойств сварных соединений отличается спецификой, обусловленной структурной (металлургической) и механической неоднородностью композиции «основной - наплавленный металл (МШ) - переходные зоны (ЗТВ)».

Испытания на статическое растяжение и определение твёрдости проводят как для отдельных зон сварного соединения, так и для всего соединения в целом. Испытания на ударный изгиб выполняют для отдельных конкретных зон сварного соединения согласно месту (точке) расположения в образце вершины концентратора относительно границ зон соединения. Испытания на статический изгиб проводят для сварного соединения в целом.

Порядок вырезки образцов, включая их форму, расположение, ориентацию, размеры (и нанесение концентратора), определяется конкретной задачей исследования, типом и геометрическими параметрами соединения, и видом испытаний.

Общие требования к испытаниям металла отдельных зон (участков) сварного соединения на статическое растяжение соответствуют таковым для аналогичных испытаний стандартных образцов металла. Испытания проводят для металла шва и металла различных участков ЗТВ.

В качестве основного метода для измерения твёрдости применятся метод Виккерса. Твёрдость сварного соединения как целой композиции определяют дискретными измерениями с заданным шагом поперёк сварного соединения (включая все зоны) от основного металла с одной стороны до основного металла другой (противоположной) стороны соединения. Твёрдость основного металла, различных участков ЗТВ и металла шва измеряют по одной или нескольким линиям на поперечном сечении соединения, перпендикулярным оси соединения на этом сечении. Предпочтительно проводить измерения по нескольким линиям.

Испытания на ударный изгиб сварного соединения проводят для различных его зон: МШ, различных участков ЗТВ (линия сплавления, «мягкая» прослойка).

Принадлежность испытываемого металла к конкретной зоне определяется месторасположением вершины концентратора (надреза) в образце по отношению к границам зон соединения. Основные требования к образцам, проведению испытаний и обработке их результатов соответствуют таковым для стандартных испытаний металла на ударную вязкость.

Испытание сварного соединения как цельной композиции на статическое растяжение проводят для определения прочности наиболее слабого участка стыкового или нахлёсточного соединения и по его результатам устанавливают временное сопротивление наиболее слабого участка (сварного соединения в целом).

*6. Испытания на длительную прочность*

Испытания на длительную прочность проводят:

- для оценки соответствия жаропрочных свойств материалов нормативным требованиям применительно к металлу повреждённых в ходе эксплуатации элементов;

- для определения остаточного ресурса высокотемпературных элементов длительно эксплуатируемого оборудования.

*7. Определение химического состава металла*

Определение элементного состава металла методами химического анализа (с помощью химических реакций) проводят на специально отобранных пробах в виде стружки, мелких частиц металла (опилок).

Поверхность металла для отбора проб тщательно очищается от окалины и прочих загрязнений. Пробы отбирают в нескольких местах по поверхности или сечению детали сверлами или специально заточенным резцом.

Недопустимо попадание на отбираемую пробу масла или охлаждающей эмульсии. Поверхность стружки не должна иметь цветов побежалости. Не следует отбирать пробу (опилки) напильником во избежание попадания в неё частиц постороннего материала.

Для определения химического состава металла в лабораторных условиях предпочтительно использовать современные технические средства: стационарные приборы оптико-эмиссионного или рентгенофлуоресцентного принципа действия. С помощью стационарных аналитических приборов определяют химический состав металла на демонтированных деталях или вырезанных образцах.

## 2.3 Назначенный ресурс элементов оборудования

Назначенный ресурс устанавливается для однотипных по конструкции, маркам стали изготовления и условиям эксплуатации элементов оборудования на основании результатов расчётно-экспериментальных исследований и опыта эксплуатации.

Назначенный ресурс для групп элементов оборудования не является предельным, обозначающим при его достижении необходимость обязательного вывода из эксплуатации и демонтажа данных элементов. По достижении группой элементов оборудования назначенного ресурса выполняется техническое диагностирование этих элементов и продление на основании его результатов срока их эксплуатации.

Элементы оборудования, для которых назначенный ресурс не устанавливается, на основании удовлетворительных результатов эксплуатационного контроля допускаются в дальнейшую эксплуатацию до очередного контроля согласно указанной в регламенте периодичности или до срока проведения ЭПБ.

**Котлы**

Значения назначенного ресурса коллекторов котлов, работающих при температуре 450°С и выше, в зависимости от расчётных параметров эксплуатации и применённых марок стали, приведены в таблице 9.

|  |
| --- |
| Таблица 9 – Значения назначенного ресурса коллекторов котлов, работающих при температуре 450°С и выше |

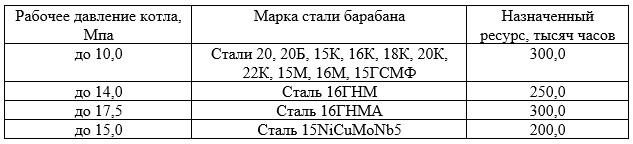
Назначенный ресурс прямых участков и гибов паропроводов и пароперепускных труб в пределах котлов и паровых турбин равен назначенному ресурсу прямых участков и гибов станционных паропроводов из аналогичных марок стали, эксплуатирующихся при таких же номинальных параметрах пара.

Ресурс надёжной эксплуатации труб поверхностей нагрева котла, работающих при 450°С и выше, устанавливается при проведении планового обследования после наработки 50 тысяч часов - с учётом результатов исследования состояния металла на вырезках.

Если при этом величина остаточного ресурса труб контролируемой поверхности нагрева превысит 50 тысяч часов, то данная поверхность нагрева допускается в дальнейшую эксплуатацию на 50 тысяч часов, по истечении которых должно быть проведено очередное обследование (с оценкой остаточного ресурса).

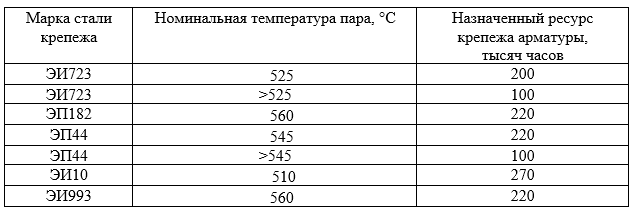
Назначенный ресурс барабанов, установленный в зависимости от марки, стали и эксплуатационных параметров (за котлом), приведён в таблице 10.

### Таблица 10 - Назначенный ресурс барабанов

**

Назначенный ресурс крепежа арматуры, работающей при температуре 450°С и выше, в зависимости от номинальных параметров эксплуатации и применённых марок стали приведён в таблице 11.

### Таблица 11 - Назначенный ресурс крепежа арматуры

**

## 2.4 Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды

Нормы расчета на прочность (постановление Госгортехнадзора России от 25 августа 1998 г. № 50) стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды распространяются на паровые котлы и паропроводы с избыточным рабочим давлением более 0,07 МПа и на водогрейные котлы и трубопроводы горячей воды с температурой свыше 115 °С.

- на котлы с топкой, котлы-утилизаторы, энерготехнологические котлы и др.;

- на встроенные и автономные пароперегреватели и экономайзеры;

- на трубопроводы пара и горячей воды в пределах котла, включая опускные трубы, соединительные трубы и стояки;

- на трубопроводы пара и горячей воды любого назначения;

- на сосуды, подключенные к тракту котла (пароохладители, сепараторы и др.).

Допускается применение Норм при расчете сосудов энергомашиностроения и корпусов арматуры тепловых электростанций и других установок.

Нормы не распространяются на котлы, трубопроводы, встроенные и автономные пароперегреватели и экономайзеры, устанавливаемые на морских и речных судах и на других плавучих средствах или объектах подводного применения, а также на подвижном составе железнодорожного, автомобильного и гусеничного транспорта, и на котлы с электрическим обогревом.

Для котлов и трубопроводов, находящихся в эксплуатации, в процессе монтажа или изготовления или оконченных проектированием до введения данных Норм, переоформление расчетов на прочность в соответствии с новыми нормами не требуется.

Нормах методы расчета на прочность применимы при соблюдении следующих условий:

- конструкция, материалы, изготовление, контроль, монтаж и ремонт котла, трубопровода и их деталей, работающих под давлением, удовлетворяют соответствующим требованиям ФНП;

- эксплуатация котла и трубопровода удовлетворяет требованиям ФНП;

- при монтаже, эксплуатации и ремонте обеспечено выполнение инструкций и указаний предприятия-изготовителя.

При расчете деталей, конструкция которых, способы изготовления и условия эксплуатации отличаются от общепринятых, установленных соответствующими Правилами, необходимо вводить коррективы, учитывающие особенности изготовления и эксплуатации. Для деталей, подверженных частым сменам нагрузки или колебаниям температуры, должны выполняться поверочные расчеты на малоцикловую усталость.

Прочность деталей, методы расчета которых в Нормах не приводятся, должна быть подтверждена изготовителем в результате проведения испытаний моделей или образцов либо расчетами на прочность, согласованными со специализированными научно-исследовательскими организациями. При этом должно быть обеспечено соблюдение запасов прочности, не менее установленных.

Методика расчетов на прочность, приведенная в Нормах, предусматривает выполнение расчетов в прямом и обратном порядке. При прямом порядке расчетов определяется номинальная или допустимая толщина стенки по заданному или принятому расчетному давлению, при обратном порядке расчета определяется величина допустимого давления по фактической или номинальной толщине стенки. Обратный порядок расчета может быть назван контрольным расчетом. Выбор порядка расчета должен производиться организацией, выполняющей расчет.

В Нормах не приводятся последовательность и методика поверочного расчета, основной задачей которого является обоснование расчетного ресурса эксплуатации. Однако в поверочном расчете должны использоваться значения номинальных допускаемых напряжений и основные расчетные формулы, и зависимости.

## 2.4 Нормы контроля и критерии качества металла

**Котлы**

Для труб поверхностей нагрева химический состав, технологические дефекты, макроструктура, загрязненность неметаллическими включениями должны удовлетворять требованиям технических условий на поставку с учетом возможных изменений при длительной эксплуатации, а общее состояние металла должно удовлетворять следующим требованиям:

а) По результатам визуального контроля металла труб (в котле и на вырезке) не допускаются:

- выход труб из ранжира на величину диаметра трубы и более;

- равномерное увеличение наружного диаметра относительно номинального для труб из легированных марок сталей более чем на 2,5%, для труб из углеродистых сталей - более 3,5%;

- отдулины и макротрещины.

б) По результатам металлографического контроля не допускаются:

- микротрещины;

- коррозия по периметру зерен (межкристаллитная коррозия) на глубину 0,3 мм и более в металле на наружной поверхности труб из стали 12Х18Н12Т;

-сульфидно-оксидная коррозия на наружной поверхности труб из перлитных сталей на глубину 0,1 мм и более в металле;

- обезуглероженный слой глубиной более 0,2 мм.

Для коллекторов котлов должны соблюдаться следующие требования к состоянию металла:

а) На наружной и внутренней поверхностях коллекторов не допускаются:

- трещины всех видов и протяженные трещиноподобные (длина в 10 раз больше ширины) дефекты;

- несплошности (дефекты) округлой формы с размером по поверхности более толщины стенки трубы или более 20 мм и глубиной более 3 мм;

- продольные риски глубиной более 10% от толщины (S) стенки или более 2,5 мм при S > 25 мм.

б) Прогиб коллектора не должен превышать 20 мм на 1 м длины и 100 мм по всей длине между опорами.

в) Качество стыковых и штуцерных сварных соединений по результатам неразрушающего контроля.

г) Твердость металла коллекторов должна находиться в пределах следующих рекомендуемых диапазонов:

- для стали марки 20 - от 120 до 180 HB; для стали 15ГС (16ГС) - от 120 до 200 HB;

- для стали марки 12МХ и 10CrMo910 - от 120 до 190 HB;

- для стали марок 15ХМ, 12Х1МФ и 15Х1М1Ф - от 130 до 210 HB;

- для мартенситных сталей 10Х9МФБ и Х10CrMoVNb9-1 - от 190 до 255 HB.

Для перлитных сталей отклонения по твердости металла следует считать критичными, если минимальное ее значение меньше нижней границы соответствующего данной марки стали рекомендованного диапазона на 10%, а максимальное значение больше его верхней границы на 15% от среднего (медианного) значения твердости данного диапазона.

Для мартенситных сталей указанные отклонения не должны превышать 5 и 10% относительно нижней и верхней границ соответственно от величины среднего значения рекомендованного диапазона твердости.

Если твердость металла не укладывается в рамки рекомендуемого диапазона, но не выходит за границы критических значений, требуется предусмотреть компенсирующие мероприятия.

д) Для коллекторов из углеродистой или молибденовой (15М, 16М) стали графитизация не должна превышать балл 2 стандартной шкалы.

е) Для коллекторов из теплоустойчивой стали перлитного класса, работающих в условиях ползучести, микроповрежденность металла не должна превышать балл 4 стандартной шкалы.

Для коллекторов из хромистой стали мартенситного класса микроповрежденность не должна превышать балл 3 шкалы.

Требования к качеству и критерии оценки состояния пароперепускных труб, работающих при температуре 450 °C и выше, соответствуют аналогичным требованиям к трубам паропроводов.

Состояние металла литых деталей, работающих при температуре 450 °C и выше, должно удовлетворять следующим условиям:

- качество поверхности и макроструктура должны соответствовать требованиям технических условий на отливки;

- твердость металла должна удовлетворять требованиям технических условий на поставку. При отсутствии таких данных твердость металла литых деталей должна составлять не менее 0,8 от нижней границы диапазона твердости для аналогичной марки стали катаных, кованых и штампованных деталей согласно нормам ФНП;

- в микроструктуре металла не допускаются поры размером более 5 мкм.

Состояние металла пароводоперепускных труб, работающих при температуре до 450 °C, должно удовлетворять следующим требованиям:

а) На поверхности гибов труб не допускаются:

- трещины всех видов, а также протяженные трещиноподобные (длина в 10 раз больше ширины) дефекты;

- продольные риски глубиной более 10% толщины стенки или более 2 мм для S ≥ 20 мм;

- дефекты округлой формы (раковины, коррозионные язвы) с размером по поверхности более 10 мм и глубиной более 1,5 мм для элементов с Da ≤ 133 мм или с размером по поверхности более 15 мм и глубиной более 2,5 мм для элементов остальных типоразмеров;

- скопления дефектов округлой формы глубиной более 0,5 мм для элементов с Da ≤ 133 мм или глубиной более 1,0 мм для элементов других типоразмеров.

б) Поверхностные дефекты с острыми краями следует выбирать абразивным инструментом с плавным скруглением краев выборки. При этом выборка не должна ослаблять стенку до уровня, приводящего к снижению коэффициента запаса прочности ниже нормативного значения. В любом случае глубина выборки не должна превышать 15% от номинальной толщины стенки элемента.

в) На внутреннем обводе гибов допускается плавная неровность (волнистость) высотой не более половины номинальной толщины стенки, но не более 10 мм. При этом шаг волн должен быть не менее утроенной их высоты.

г) Овальность гибов труб не должна превышать 8%.

д) Утонение стенки прямых труб и гибов в нейтральных зонах не должно превышать 10% от номинальной толщины стенки, а гибов в растянутой зоне (на наружном обводе) - 15%, для крутоизогнутых гибов допускается утонение стенки по наружному обводу до 20% от номинальной толщины (если иные критерии не установлены в технической документации изготовителя).

Если утонение стенки элементов превышает указанные нормы, то их работоспособность должна быть подтверждена контрольным расчетом на прочность.

е) Гибы считаются непригодными к дальнейшей эксплуатации, если по результатам их УЗК обнаружены дефекты, амплитуда или пробег эхо-сигнала от которых равны или превышают браковочные значения или на внутренней поверхности обнаружены дефекты, превышающие по амплитуде контрольный уровень чувствительности.

Качество гибов считается удовлетворительным, если по результатам их контроля методами ВИК, УЗК, МПК (МПД) или ЦД не обнаружены дефекты с браковочными признаками.

ж) Твердость металла гибов должна соответствовать следующим рекомендованным интервалам значений:

- для стали марок 20, 15ГС (16ГС) - от 130 до 190 HB - в растянутой зоне и от 120 до 180 HB в нейтральных зонах и на прямых участках. Для стали 15ГС (16ГС) считать приемлемым увеличение твердости в нейтральных зонах до 190 HB и в растянутой зоне гиба до 200 HB;

- для стали марки 12МХ (и 10CrMo910) - от 130 до 200 HB в растянутой зоне и от 120 до 190 HB в нейтральных зонах и на прямых участках;

- для стали марок 15ХМ, 12Х1МФ и 15Х1М1Ф - от 140 до 220 HB в растянутой зоне и от 130 до 200 HB в нейтральных зонах и на прямых участках.

Допускаются отклонения от границ указанных диапазонов твердости в следующих пределах:

- для сталей 20 и 15ГС (16ГС) - в сторону уменьшения от нижней границы и в сторону увеличения от верхней границы на 10 и 15% соответственно по средней величине твердости данного диапазона;

- для сталей 12МХ, 15ХМ, 12Х1МФ и 15Х1М1Ф - в сторону уменьшения от нижней границы и в сторону увеличения от верхней границы на 5 и 10% соответственно по средней величине твердости данного диапазона.

Если твердость металла не укладывается в рамки рекомендованного диапазона, но не выходит за границы критических значений, требуется предусмотреть компенсирующие мероприятия.

з) Требования к качеству сварных соединений перепускных труб по результатам неразрушающего контроля.

и) Для труб из углеродистой и молибденовой (15М, 16М) стали, работающих при температуре выше 390 °C, графитизация в зонах сварных соединений и в металле гибов не должна превышать балла 2 стандартной шкалы.

к) При исследовании свойств металла на вырезках должны соблюдаться следующие требования в отношении результатов этих исследований:

- химический состав, макроструктура, загрязненность неметаллическими включениями должны соответствовать требованиям технических условий;

- прочностные характеристики металла (временное сопротивление разрыву и условный предел текучести) не должны отличаться более чем на 5% в меньшую сторону от значений, регламентированных техническими условиями на поставку, как при комнатной, так и при рабочей температурах;

- относительное удлинение стандартных образцов должно составлять при комнатной температуре не менее:

- 20% - для углеродистой стали;

- 16% - для кремнемарганцовистой стали (15ГС, 16ГС);

- 18% - для легированной хромомолибденовой и хромомолибденованадиевой стали;

- отношение предела текучести к временному сопротивлению не должно превышать при комнатной температуре 0,65 - для углеродистых сталей и 0,75 - для легированной стали;

- минимальное значение ударной вязкости при комнатной температуре на образцах с острым надрезом (типа «Шарпи») должно быть не менее 0,20 МДж/м2 (2,0 кгс·м/см2), на образцах с круглым надрезом (типа «Менаже») - не менее 0,30 МДж/м2 (3,0 кгс·м/см2).

Барабаны котлов должны удовлетворять следующим нормам качества

а) Геометрические параметры барабана должны соответствовать условиям:

- отклонение среднего диаметра барабана от номинального значения не должно превышать 1% в большую сторону;

- овальность барабанов не должна превышать 1%;

- отклонение от прямолинейности образующих обечаек не должно превышать 3 мм на каждый 1 метр длины обечайки;

б) На поверхности металла и сварных соединений барабана не допускаются трещины всех видов и направлений.

Допускаются поверхностные единичные дефекты округлой формы пологого профиля (раковины, коррозионные язвы) глубиной не более 10% от толщины стенки, но не более 8 мм с максимальным размером на поверхности не более 20 мм, отстоящие от кромки ближайшего отверстия или сварного шва на расстояние не менее 300 мм. В зонах отверстий (включая кромки) и сварных соединений, то есть на расстоянии от них менее 300 мм, допускаются указанного выше типа дефекты глубиной не более 5 мм и максимальным размером по поверхности не более 10 мм.

Допускаются скопления коррозионных язв или других поверхностных дефектов пологого профиля глубиной не более 3 мм.

в) не допускаются расслоения металла, выходящие на поверхность лазовых отверстий;

г) твердость металла по данным измерений переносным прибором должна находиться в пределах:

- для углеродистой и молибденовой стали (типа 20, 20Б, 15М, 16М, 20К, 22К) - 120 - 180 HB;

- для легированной стали типа 16ГНМ, 16ГНМА - 140 - 210 HB; стали 15NiCuMoNb5 - 180 - 250 HB.

Допускаются отклонения от граничных значений указанных рекомендуемых диапазонов твердости в верхнюю и нижнюю стороны:

- для углеродистой и молибденовой стали (20, 20Б, 15М, 16М, 20К, 22К) не более, чем на 10% от среднего значения твердости соответствующего диапазона;

- для сталей 16ГНМ, 16ГНМА, 15NiCuMoNb5 не более, чем на 7% от среднего значения твердости соответствующего диапазона.

Если твердость металла не укладывается в рамки рекомендованного диапазона, но не выходит за границы критических значений, требуется предусмотреть компенсирующие мероприятия.

д) структура металла по результатам металлографического исследования на локальных пробах или вырезках должна соответствовать требованиям к исходному состоянию.

е) при исследовании свойств металла на вырезках должны соблюдаться следующие требования к их результатам:

- прочностные характеристики металла (временное сопротивление разрыву и условный предел текучести) не должны отличаться более чем на 5% в меньшую сторону от значений, регламентированных техническими условиями на поставку, как при комнатной, так и при рабочей температурах;

- относительное удлинение стандартных разрывных образцов должно составлять при комнатной температуре не менее:

- 20% - для углеродистой стали;

- 17% - для легированной (16ГНМ, 16ГНМА, 15NiCuMoNb5) стали;

- отношение условного предела текучести металла к временному сопротивлению при комнатной температуре не должно превышать 0,65 для углеродистых сталей и 0,8 - для легированных;

- ударная вязкость металла при комнатной температуре на образцах с острым надрезом («Шарпи») должна быть не менее 0,20 МДж/м2 (2,0 кгс·м/см2);

- критическая температура хрупкости металла (TK) должна быть не выше 60 °C.

ж) требования к качеству стыковых и штуцерных сварных соединений барабанов по результатам неразрушающего контроля.

**Трубопроводы пара и горячей воды**

**Состояние металла элементов паропроводов** (включая пароперепускные трубопроводы турбин и котлов) из сталей перлитного и мартенситного классов, работающих при температуре 450 °C и выше, должно удовлетворять следующим требованиям

а) химический состав, технологические дефекты, макроструктура, загрязненность неметаллическими включениями должны соответствовать требованиям технических условий на поставку;

б) остаточная деформация ползучести не должна превышать: для прямых труб из стали 12Х1МФ - 1,5% диаметра; для прямых труб из сталей других марок - 1,0% диаметра; для прямых участков гнутых труб (гибов) независимо от марки стали - 0,8% диаметра.

Остаточная деформация прямых труб и прямых участков гибов паропроводов блоков СКД из стали марок 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 10Х9МФБ и Х10CrMoVNb9-1 не должна превышать 0,8 и 0,6% соответственно.

в) для стали марок 12Х1МФ и 15Х1М1Ф суммарное предельное содержание легирующих элементов в карбидном осадке не должно превышать 60% от общего (суммарного) содержания легирующих элементов в металле;

г) утонение стенки прямых труб и гибов в нейтральных зонах не должно превышать 10% от номинальной толщины стенки элемента, а гибов в растянутой зоне (на наружном обводе) - 15%. Для крутоизогнутых гибов допускается утонение стенки по наружному обводу до 20% от номинальной толщины.

При несоблюдении данных требований по допустимому утонению стенки элементов их работоспособность должна быть подтверждена контрольным расчетом на прочность с уточнением ресурсных характеристик.

д) допускаются протяженные дефекты механического происхождения (риски) на наружной поверхности гнутых элементов глубиной не более 10% номинальной толщины стенки, но не более 1,5 мм в растянутой зоне и не более 2,0 мм - на остальных участках поверхности;

На наружной поверхности элементов паропроводов допускаются коррозионные язвы, раковины и другие локальные повреждения плавной формы глубиной не более 10% номинальной толщины стенки, но не более 2 мм. Трещины всех видов не допускаются;

е) микроповрежденность металла элементов из перлитных сталей при 500-кратном увеличении не должна превышать 4-го балла по шкале.

Микроповрежденность металла элементов из мартенситных сталей при 1000-кратном увеличении не должна превышать 3-го балла по шкале.

Степень сферойдизации перлита не должна превышать 5-й балл по шкале. При более высоком уровне сфероидизации перлита требуется оценить ресурсные характеристики металла с учетом результатов жаропрочных испытаний на вырезке.

ж) овальность гибов труб с отношением наружного (Da) к внутреннему (Dвн) диаметру не более 1,3 должна быть не менее 1,5%, за исключением гибов, изготовленных нагревом токами высокой частоты с осевым поджатием или подвергнутых восстановительной термической обработке, или имеющих начальную (исходную) овальность менее 1,5%. Снижение овальности в процессе эксплуатации не должно превышать 50% от ее исходного значения.

з) после 100 тысяч часов эксплуатации допускается снижение кратковременных механических свойств при комнатной температуре: временного сопротивления разрыву и предела текучести - на 30 МПа, ударной вязкости (KCU) - на 0,15 МДж/м2 (1,5 кгс·м/см2) по сравнению с гарантированными уровнями среднемарочных значений соответствующих характеристик согласно требованиям на поставку. Минимальное значение ударной вязкости при комнатной температуре, полученное на образцах с острым надрезом (KCV), должно составлять не менее 0,25 МДж/м2 (2,5 кгс·м/см2).

Предел текучести стали 12Х1МФ и 15Х1М1Ф при температуре 550 °C должен быть не ниже 180 МПа, стали 12МХ и 15ХМ при температуре 510 °C - не ниже 200 МПа.

Значения и предельные нормы твердости гибов паропроводов из перлитных сталей принимаются в соответствии с указаниями подпункта «ж» для элементов пароводоперепускных трубных систем котлов. Твердость металла элементов из хромистой мартенситной стали должна соответствовать диапазону 190 - 255 HB с предельно допустимым отклонением в большую и меньшую стороны от его границ не более, чем на 5% от среднего значения твердости этого диапазона;

и) предел длительной прочности для конкретной марки стали на базе 100 тысяч и 200 тысяч часов не должен отклоняться более чем на 20% в меньшую сторону по сравнению со средними значениями данной характеристики согласно требованиям технических условий;

к) минимальный уровень длительной пластичности (δ) должен быть не ниже 10% по результатам испытания образцов до разрушения на базе, условно соответствующей сроку эксплуатации паропровода;

л) требования к качеству сварных соединений паропроводов должны соответствовать установленным требованиям.

Должны выполняться следующие требования к качеству **металла центробежнолитых труб** из стали 15Х1М1Ф паропроводов горячего промперегрева:

а) химический состав, технологические дефекты, неметаллические включения, микроструктура, геометрические размеры должны удовлетворять требованиям технических условий на поставку с учетом допускаемых после длительной эксплуатации изменений.

По результатам анализа макроструктуры ликвационная полосчатость не должна занимать более половины площади поперечного сечения стенок труб;

б) микроструктура металла с ликвационными зонами, соответствующая V баллу шкалы, считается браковочной. Для металла труб с ликвационными зонами, микроструктура которого соответствует IV (б) баллу шкалы указанного приложения, условием допуска к эксплуатации является удовлетворительный уровень ударной вязкости (KCU ≥ 0,4 МДж/м2) и кратковременной пластичности (δ ≥ 16%; ψ ≥ 45%) при комнатной температуре, установленный на образцах, вырезанных из зоны ликвации.

Микроповрежденность металла в зонах с ликвационной структурой и вне ее не должна превышать 5-й балл шкалы микроповрежденности;

в) после 100 тысяч часов эксплуатации допускается снижение кратковременной прочности при комнатной температуре: временного сопротивления разрыву - до 430 МПа; предела текучести - до 215 МПа.

Значения ударной вязкости и кратковременной пластичности при комнатной температуре должны составлять не менее: KCU - 0,4 МДж/м2; δ - 16%; ψ - 45%.

Предел длительной прочности стали на базе 105 и 2 · 105 ч не должен отклоняться более чем на 20% в меньшую сторону по сравнению со средними значениями данной характеристики согласно техническим условиям;

г) минимальный уровень длительной пластичности должен быть не ниже 10% по результатам испытания образцов до разрушения на базе, условно соответствующей сроку эксплуатации паропровода;

д) предельным состоянием металла центробежнолитых труб паропроводов, при котором дальнейшая эксплуатация их не допустима, является появление в них микротрещин, образовавшихся в результате слияния пор ползучести под влиянием температурно-временных и силовых факторов, а также наличие в одном поле зрения микроскопа при 50 - 100-кратном увеличении более трех технологических (междендритных) микротрещин каждая протяженностью 0,5 мм и более;

е) требования к качеству сварных соединений центробежнолитых труб должны соответствовать установленным требованиям.

**Требования к состоянию металла элементов питательных трубопроводов** должны удовлетворять следующим условиям:

а) химический состав, механические свойства, макро- и микроструктура, а также геометрические характеристики элементов должны соответствовать требованиям технических условий на поставку;

б) утонение стенки прямых труб и гибов в нейтральных зонах не должно превышать 10% от номинальной толщины стенки элемента, а гибов в растянутой зоне (на наружном обводе) - 15%;

Для крутоизогнутых гибов допускается утонение стенки по наружному обводу до 20% от номинальной толщины.

При несоблюдении указанных требований по допустимому утонению стенки элементов их работоспособность должна быть подтверждена контрольным расчетом на прочность с уточнением ресурсных характеристик;

в) требования к качеству сварных соединений питательных трубопроводов по результатам неразрушающего контроля;

г) остальные требования по качеству металла питательных трубопроводов соответствуют требованиям для пароводоперепускных труб котлов (работающих при температуре до 450 °C).