

Марьин Б. Н., Ким В. А., Сысоев О. Е., Пхон Хтет Кьяв, Мин Ко Хлайнг
V. N. Maryn, V. A. Kim, O. Ye. Sysoyev, Phone Htet Kyaw, Min Ko Hlaing

АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГИДРОГАЗОВЫХ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДОВ

DEFECT ANALYSIS OF OPERATING HYDROGASIFIED PIPING SYSTEMS

Марьин Борис Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение и металлургия» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, г. Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Boris N. Maryn – D.Sc. in Engineering, professor, Mechanical Engineering and metallurgy Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Ким Владимир Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и технология новых материалов» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, г. Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Vladimir A. Kim – D.Sc. in Engineering, professor, Materials and technology of new materials Department, Komsomolsk-on-Amur state technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Сысоев Олег Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, декан факультета кадастра и строительства Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, г. Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: fks@knastu.ru.

Mr. Oleg Ye. Sysoyev – D.Sc. in Engineering, Professor, Dean of the of Cadastre and Civil Engineering Faculty; Komsomolsk-on-Amur State Technical University; 27, Lenin Ave. (Russia, Komsomolsk-on-Amur). Komsomolsk-on-Amur, 681013, Russia. E-mail: fks@knastu.ru.

Пхон Хтет Кьяв – аспирант кафедры «Материаловедение и технология новых материалов» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, г. Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Phone Htet Kyaw – a postgraduate student, Materials and technology of new materials Department, Komsomolsk-on-Amur state technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Мин Ко Хлайнг – аспирант кафедры «Материаловедение и технология новых материалов» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, г. Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Min Ko Hlaing – a postgraduate student, Materials and technology of new materials Department, Komsomolsk-on-Amur state technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Аннотация. В статье проведен анализ причин возникновения дефектов в трубопроводах и гидрогазовых системах при их изготовлении, сборке и монтаже агрегатов, а также эксплуатации. Разработана подробная классификация неисправностей трубопроводов и гидрогазовых систем. Определены факторы надежности трубопроводных коммуникаций и агрегатов. Разработаны предложения по дальнейшему совершенствованию технологии ремонта трубопроводных систем. Показано влияние конфигурации и материала трубопроводов на надежность работы гидрогазовых систем в целом. Особое внимание уделено дефектам соединительных элементов трубопроводов на этапе их изготовления, монтажа, а также эксплуатации.

Summary. The article analyzes the causes of defects in pipelines and hydro gasified systems in their manufacture, assembly and installation units, as well as in operation. A detailed classification of the fault lines and hydro gasified systems is drawn. The factors of reliability of pipeline and communications units are determined. Further improvement of repairing pipeline system technology is suggested. The authors show the impact of piping configuration and its material on the system reliability as a whole. Particular attention is paid to the defects of pipelines connecting elements during their manufacture, installation and operation.

Ключевые слова: классификация дефектов, трубопроводы, гидрогазовые системы, деформация, дефектация, негерметичность, соединительные элементы.

Key words: classification of defects, pipelines, hydro gasified system, deformation, flaw detection, leakage, connecting elements.

УДК 621.01

Трубопроводы и гидрогазовые системы находят широкое применение во всех отраслях машиностроения, выход их из строя может привести не только к экономическим потерям, но и к техногенным катастрофам. Особенно это важно при строительстве и эксплуатации нефтяных и газовых платформ северных районов около береговых линий, где условия работы жёсткие по температурным колебаниям, а окружающая среда агрессивная, вызывающая коррозию (морская вода).

Трубопроводные магистрали гидрогазовых систем предназначены для соединения источников энергии систем (насосов, гидроаккумуляторов, баллонов) с потребителями энергии или исполнительными механизмами (силовыми цилиндрами, гидроусилителями, демпферами, насосами гидромоторами и др.). Эта связь осуществляется подачей от источников к потребителям рабочего вещества (жидкости или газа) под давлением через управляющие и распределительные устройства (краны, клапаны, золотники и др.) по системе трубопроводов.

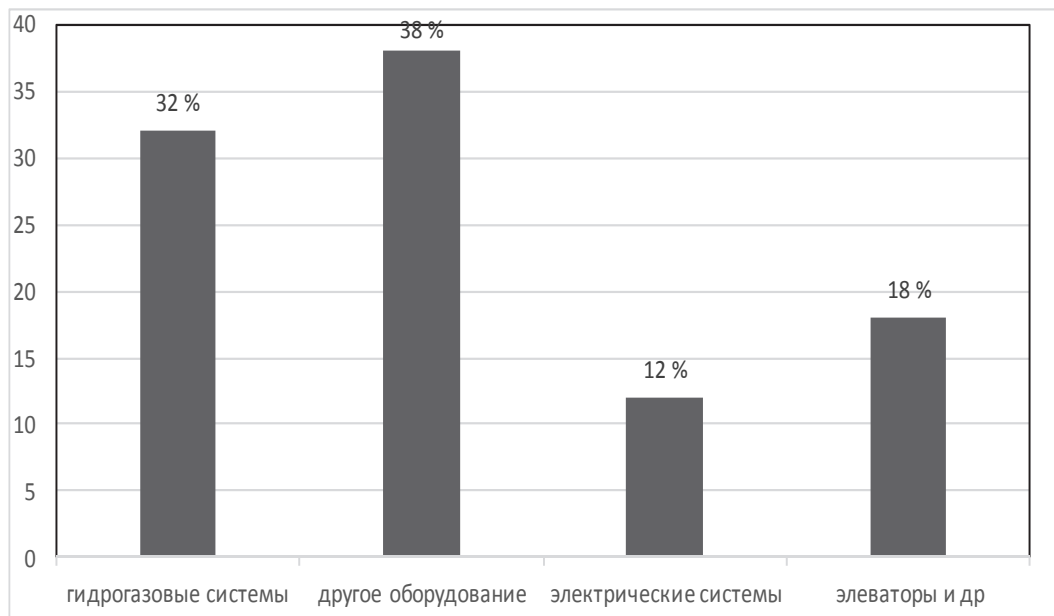
Аварии на трубопроводных магистралях и гидрогазовых системах могут привести к человеческим жертвам и экологическим катастрофам. Поэтому исследования дефектов трубопроводных магистралей и гидрогазовых систем позволяют обеспечивать их качество и изготовления, монтаж и эксплуатацию. Рабочее давление в трубопроводах, в частности современных самолетов (вертолетов), может достигать значительных величин [1].

Анализ статистических отказов и неисправностей, выявленных при эксплуатации новых и ремонтных изделий авиационной техники, показывает, что надежность работы изделия в целом в большой степени определяется надежностью работы его жидкостно-газовых систем и, в частности, надежностью работы его трубопроводных магистралей (см. рис. 1). Наибольший процент обнаруживаемых дефектов приходится на трубопроводы систем высокого давления (гидравлические и воздушные) [2; 3].

Анализ материалов дефектации системы в процессе их ремонта на эксплуатационных ремонтных предприятиях (ЭРП) подтверждает в основном этот вывод, несмотря на то, что значительная часть трубопроводов заменяется в процессе эксплуатации (до поступления в ремонт) [2; 3]. Наиболее распространенными неисправностями трубопроводных магистралей являются (см. рис. 1, б) нарушение герметичности из-за дефектов ниппельных соединений (до половины и более от числа всех дефектов трубопроводов) и разрушение трубопроводов, также приводящее к негерметичности систем. Графики изменения интенсивности неисправности в авиационном трубопроводе, построенные для новых и ремонтных изделий, показывают, что до 70...80 % всех неисправностей обнаруживается на первых 50...60 ч налета после изготовления изделий или выпуска их из ремонта (см. рис. 2).

Результаты качественного и количественного анализов, выполненных по данным эксплуатирующих и ремонтных организаций, свидетельствуют о том, что характер проявления и причины появления основных наиболее массовых и опасных дефектов трубопроводов аналогичны. Поэтому существует возможность классификации дефектов трубопроводов по основным признакам с последующей разработкой типовых методов выявления и устранения дефектов, а также рекомендаций по их предупреждению. Эта работа должна систематически проводиться на ЭРП одновременно с совершенствованием методов дефектации, ремонта и изготовления трубопроводов. Наиболее опасными неисправностями трубопроводов гидрогазовых систем являются механические повреждения труб, вызывающие негерметичность систем. Негерметичность систем может быть также вызвана коррозионным разрушением труб. В результате неисправностей трубопроводов может происходить заклинивание золотниковых и плунжерных пар агрегатов гидравлических систем из-за попадания в них продуктов разрушения трубопроводов.

а)



б)

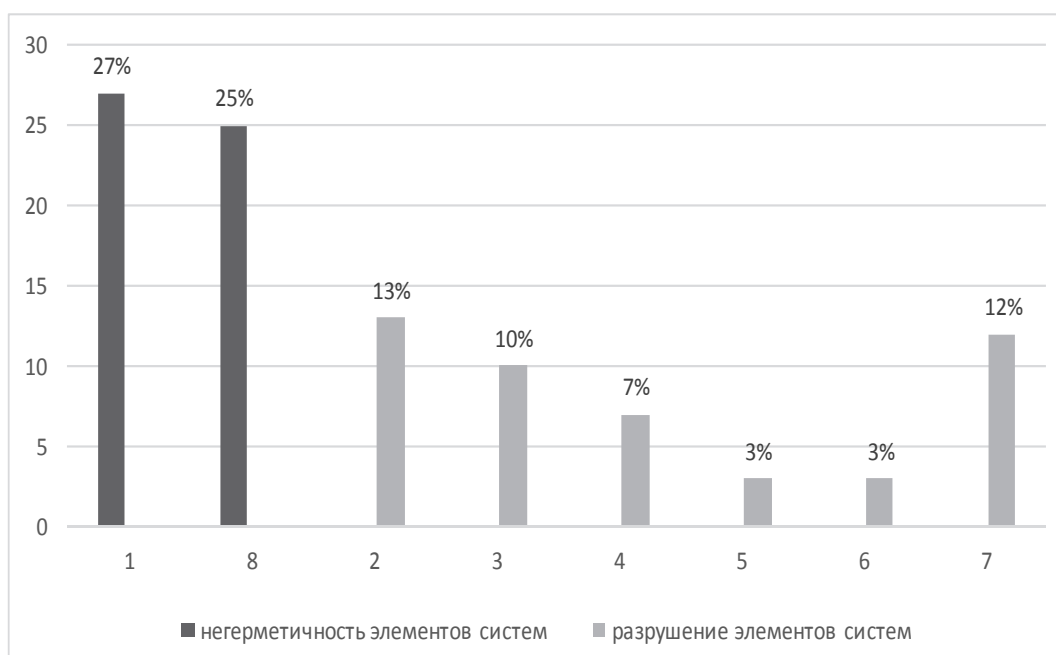


Рис. 1. Диаграммы распределения отказов и дефектов: (а) по системе в целом: 1 – газогозовые системы; 2 – другое оборудование; 3 – электрические системы; 4 – элеваторы и др.; б – по трубопроводным системам и характеру их неисправностей: 1 – агрегаты; 2 – трубопроводы в местах развальцовки, пайки и сварки (в заделках); 3 – фильтры, гидроусилители, гидроаккумуляторы и др.; 5 – соединительная арматура (ниппели, гайки, штуцера, крестовины, угольники и др.); 6 – трубопроводы из-за металлургических дефектов; 7 – топливные и гидравлические системы; 8 – соединения трубопроводов.

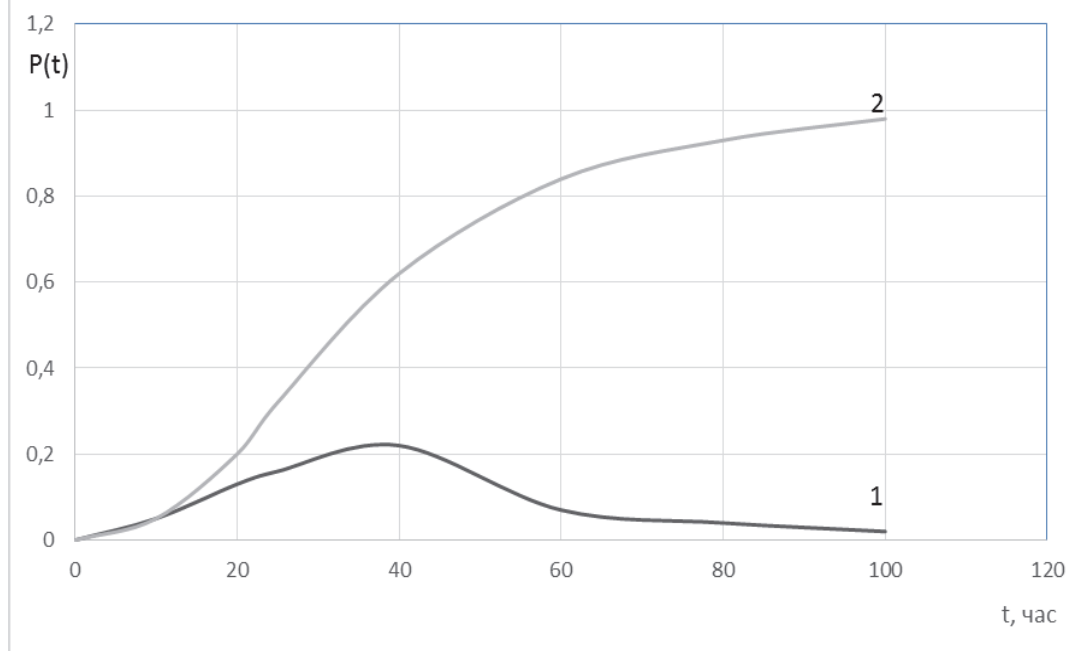


Рис. 2. Вероятность отказов (1) и накопление отказов (2) трубопроводов в авиастроении

Основными факторами, определяющими надежность трубопроводных коммуникаций, являются:

- качество изготовления и монтажа трубопроводов в производстве и при ремонте [4-7];
- эксплуатационные условия работы трубопроводов (вибрации, температуры, пульсации давления и т.п.); качество антикоррозионной защиты труб и деталей соединительной арматуры; качество технической эксплуатации (соблюдение правил ухода, использование качественного инструмента и т.п.).

Для обеспечения высокого уровня надежности трубопроводных коммуникаций при эксплуатации и ремонте необходимо знание основных видов неисправностей трубопроводов, причин их возникновения и методов предупреждения, а также систематическое совершенствование технической эксплуатации трубопроводов и методов их ремонта, а также классифицировать неисправности трубопроводов и гидрогазовых систем.

Классификация неисправностей трубопроводов произведена по основным группам разрушений и повреждений, которые, в свою очередь, делятся на виды неисправностей (см. рис. 3). В классификатор включены также неисправности, возникающие в результате поломок, пожаров и других отклонений от эксплуатационных режимов работы систем. Возникновение неисправностей трубопроводов обусловлено целым рядом факторов. Каждая неисправность имеет свой характер проявления, отличительные признаки и особенности выявления. Ниже дается краткая характеристика неисправностей в последовательности, принятой в классификаторе. Нумерация приводится в соответствии с присвоенными индексами.

Разрушения труб, встречающиеся при эксплуатации, монтаже и ремонте монтажных заготовок, подразделяются на следующие основные виды: поперечные усталостные трещины (разрушения); продольные трещины (разрывы); разрушения от воздействия внешних сил (нагрузок); разрушения от воздействия высоких температур. Кроме того, в эту группу можно было бы включить разрушение стенок труб (образование свищей) при их коррозионном поражении. Однако для удобства классификации этот дефект отнесен к группе с индексом 300.

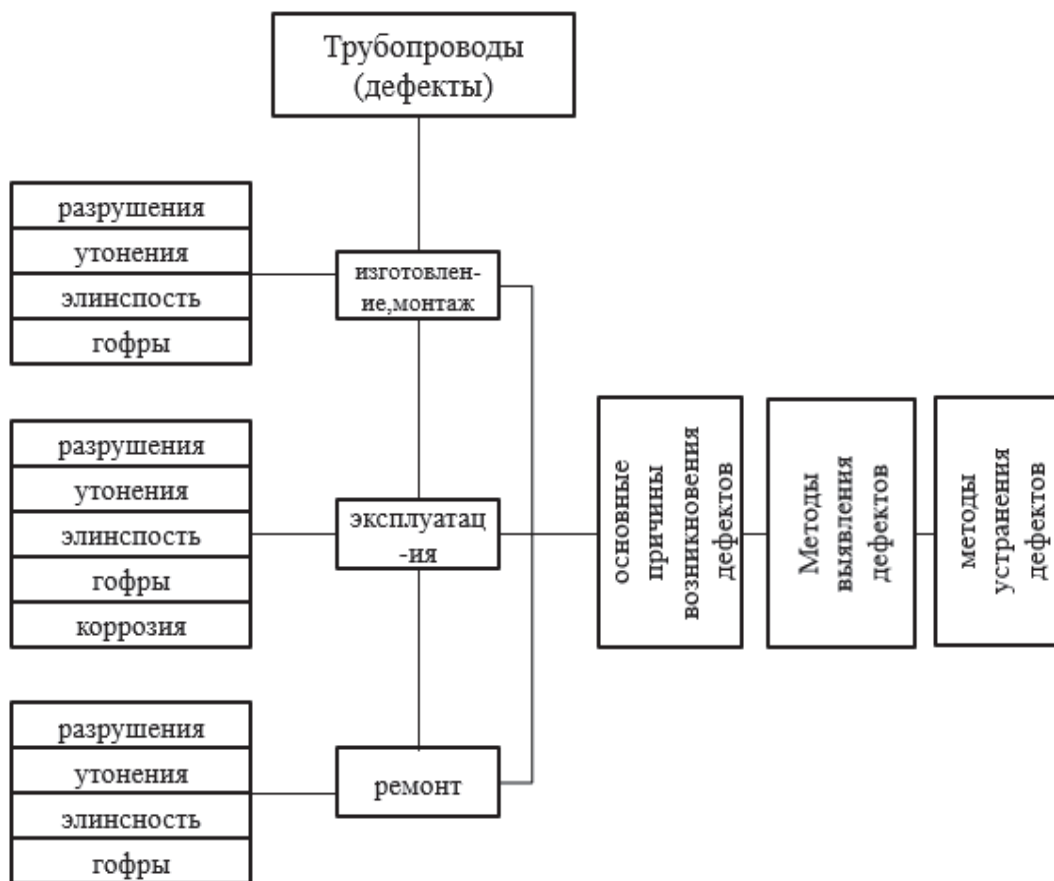


Рис. 3. Классификация неисправностей трубопроводов

Поперечные усталостные трещины (разрушения). Этот вид разрушения труб является одним из наиболее распространенных дефектов. Трещины возникают в зоне соединения труб со штуцерами агрегатов и соединительных элементов, в зоне сварных труб с ниппелями, а также в зоне крепежных точек.

Основными причинами усталостного разрушения труб в поперечном сечении могут быть:

- высокий уровень изгибных колебаний труб, источником возбуждения которых обычно являются вибрации элементов конструкции монтажных заготовок и колебания давления рабочей жидкости; эксплуатационных переменных нагрузок;
- основными источниками монтажных напряжений являются монтажные неточности при сочленении труб и деталей арматуры (перекос, несоосность и недотяг);
- повторное нагружение материала труб в зоне заделки в случае периодического касания о них подвижных элементов конструкции;
- возникновение поперечных усталостных трещин стенок труб возможно также при их радиальных колебаниях из-за пульсаций давлений рабочей жидкости.

Типичным внешним признаком негерметичности соединения из-за образования сквозной усталостной трещины в зоне развальцовки трубы является возникновение в процессе эксплуатации течи рабочей жидкости из-под хвостовика ниппеля. При попытке устранить негерметичность дополнительным подтягиванием накидной гайки течь обычно усиливается.

В сварном соединении усталостное разрушение может быть вызвано, кроме указанных выше причин, наличием резких переходов в зоне стыка, пережогом материала, непроваром и т.д.

Продольные трещины и разрывы. К этому виду дефекта относятся усталостные трещины и разрывы от воздействия внутреннего давления.

Усталостное продольное разрушение труб наиболее часто возникает в сечениях с большой овальностью, которая образуется главным образом при гибке труб. Источником колебаний искаженного сечения трубы в этом случае является пульсация давления рабочей жидкости.

Повторные нагружения материала стенок трубы в зонах максимальной кривизны овала возникают также в случае ее периодических изгибов в процессе работы механизмов (например, в поворотных бесшланговых соединениях) или при вибрациях изогнутой трубы в плоскости изгиба.

Отличительными признаками усталостной трещины по сравнению с трещиной, возникающей в результате ослабления стенки трубы металлургическими дефектами (волосовинами, закатами и др.), являются характерные завалы внешних кромок трещины и их извилистость. При наличии волосовины кромки трещины имеют острые края, извилистость отсутствует.

Разрыв стенки трубы из-за местного ее ослабления (разностенность, утонение) или из-за чрезмерного избыточного давления характеризуется значительным раскрытием и пластической деформацией (вытяжкой) материала стенок в зоне разрыва. При воздействии чрезмерного давления регистрируется раздутие трубы по всей ее длине. В случае недостаточной прочности стенки трубы в зоне разрушения раздутие происходит только вблизи места разрушения.

Разрушения от воздействия внешних сил (нагрузок). В результате поломок гидрогазовых систем или попадания в зону подвижных элементов посторонних предметов возможны следующие разрушения труб: продольный разрыв; излом от поперечного или продольного изгиба; перерубание (срез) соударяющимися деталями; срез со скручиванием.

Разрушение от растягивающих нагрузок характеризуется образованием шейки (сужения) в зоне разрыва.

Если растягивающие усилия действуют на трубопровод, состоящий из нескольких труб, то, как правило, его разрушение происходит из-за вырыва из заделки одной из труб (см. группу с индексом 433).

Излом трубы от изгиба наступает лишь при последующих повторных ее распрямлениях и изгибах за счет вторичных перемещений заделок (отбортовочных точек) трубы.

Разрушения от воздействия высоких температур. При пожаре, прорыве горячих газов из камер сгорания (форсажных камер) двигателей, замыкании электрического провода на трубу и других видах воздействия высоких температур возможны разрушения труб.

Разрушение стальных труб от воздействия внутреннего давления рабочей жидкости (газа) при их местном нагреве сопровождается значительным раскрытием разрыва и пластической деформацией (вытяжкой) материала стенки трубы в зоне нагрева.

Трубы из алюминиевых сплавов (АМгМ, АМц) при нагреве до температур не более 300...350 °С разрушаются так же, как стальные трубы. При более высоких температурах вследствие потери пластичности материала разрушение труб происходит при меньшем внутреннем давлении и сопровождается «выпаданием» целых участков с характерной крупнокристаллической поверхностью излома.

Разрушение стенок труб при попадании на них расплавленного металла или замыкании электропровода сопровождается образованием отверстия с характерным оплавлением кромок, что позволяет отличить его от отверстий (свищей), которые могут образоваться при коррозии с последующим обгоранием трубопровода при пожаре.

Внешние повреждения труб. Наиболее распространенными являются следующие группы внешних повреждений труб:

- повреждения защитного покрытия (без нарушения поверхности материала трубы);
- повреждения поверхностей труб, не имеющих защитного покрытия и с защитным покрытием; нарушение заданной геометрии труб.

Внешние повреждения труб могут являться следствием касания их друг о друга или об элементы конструкции, нарушения технологии монтажа, использования некачественного инструмента и т.п.

Повреждения защитного покрытия могут быть в виде потертостей в зоне закрепления трубы колодками, разного рода дефектов при монтажно-демонтажных работах.

Кроме того, повреждениями покрытий являются их растрескивание, вспучивание, отслоение из-за воздействия внешних факторов (агрессивной среды, высоких температур и т.д.) или некачественного их нанесения при изготовлении трубопроводов. При воздействии высоких температур возможно потемнение и обугливание защитных покрытий.

Повреждения поверхностей труб. К этому виду повреждений относятся риски, царапины, мелкие забоины (не более 0,1 мм), глубокие забоины (более 0,1 мм) и вмятины, потертости из-за касания об элементы конструкции или о сопряженные трубопроводы с образованием свищей.

Нарушение заданной геометрии труб. При изготовлении трубопроводов, монтаже и их эксплуатации, ремонте возможны следующие нарушения заданной геометрии труб [4-7]:

- резкие перегибы (надломы) труб;
- недопустимая (более 5... 10 %) овализация труб при их гибке;
- деформация (смятие) трубы колодками и кронштейнами;
- скручивание труб из-за провертывания штуцеров при затяжке накидных гаек или при заклинивании развальцованной части трубы и ниппеля в гайке и их совместном провертывании;
- раздутие трубы при гидроударе или чрезмерном повышении внутреннего давления.

Коррозионное поражение труб и соединительных деталей. Различают следующие основные формы коррозионного разрушения:

- равномерную (поверхностную) коррозию;
- местную (точечную, язвенную) коррозию;
- межкристаллитную коррозию.

Кроме того, встречаются такие разновидности местной коррозии, как транскристаллитная, подповерхностная и др.

По виду продуктов коррозии можно определить механизм ее протекания. Например, при электрохимической коррозии продукты рыхлые, легко удаляются механическим путем. Продукты химической коррозии (газовой, коррозии из-за содержания в топливах, маслах и других жидкостях химически активных примесей и компонентов) имеют более плотную структуру.

Очагом коррозионного поражения труб являются участки с нарушенным защитным покрытием, а также зоны воздействия коррозионно-активных сред. Наиболее часто подвержены коррозии внутренние поверхности участков трубопроводов, расположенных в самой низкой части системы и изогнутых в вертикальной плоскости (U-образных участках), где возможно скопление влаги и различных осадков, способствующих возникновению коррозии.

С течением времени может наступить сквозное разрушение трубы с образованием свища.

При обнаружении точечной или язвенной коррозии на внутренней поверхности труб производится выборочный контроль (с разрезкой) труб данного типа (10 % труб из АМГМ и АМц и 5 % стальных).

Соединительные детали арматуры трубопроводов (гайки, ниппели, проходные штуцера и др.) наиболее подвержены механическим воздействиям при сборке и разборке соединений. Смятия, забоины, истирание резьбы и другие дефекты вызывают повреждение защитного покрытия и, как следствие, коррозионное поражение соединительных деталей.

Основными последствиями коррозии на соединительных деталях являются:

- резкое разрастание трещины («прихватывание») в резьбовом соединении и в парах ниппель-труба, ниппель-гайка, в результате чего возможны такие повреждения труб и деталей, как скручивание, смятие граней, срез резьбы и т.д.;
- загрязнение систем продуктами коррозии при монтажно-демонтажных работах.

Дефекты соединительных элементов труб. Основными видами дефектов соединительных труб являются (см. рис. 4):

- 1) дефекты, возникающие в процессе разделки (развальцовки, разбортовки, зиговки и др.) концов труб под соответствующий тип соединения;
- 2) дефекты сварки (пайки) ниппелей с трубами;
- 3) повреждения соединительных элементов труб в процессе эксплуатации и ремонта.

Дефекты первой и второй групп обусловлены несовершенством отдельных операций технологии подготовки труб к соединению и некачественным выполнением этих операций (несоблюдением заданных режимов, плохой настройкой станков и приспособлений и т.п.), наличием металлургических дефектов и другими причинами.

Дефекты третьей группы образуются главным образом вследствие отклонений от технических требований (при перезатяжке соединений, сборке соединений с большими монтажными неточностями, использовании некачественного инструмента и т.д.).

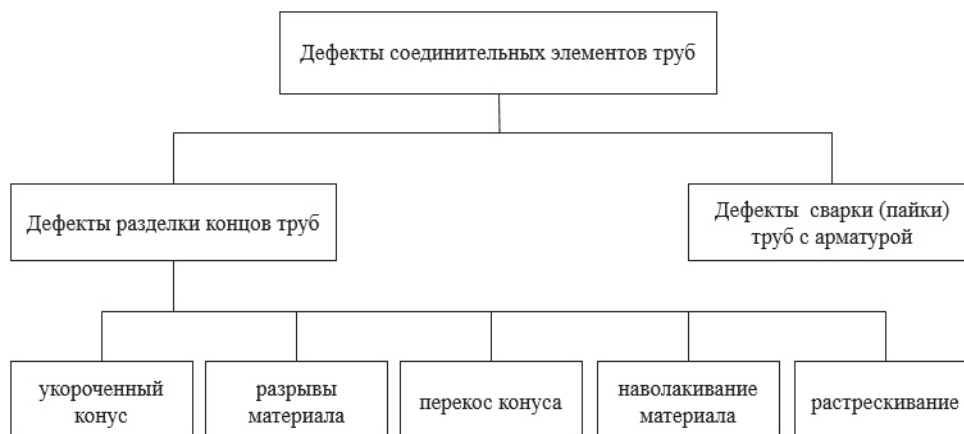


Рис. 4. Дефекты соединительных элементов

Дефекты разделки концов труб. При контроле состояния труб могут быть выявлены следующие дефекты:

- укороченный конус развальцованной части трубы. Дефект возникает в результате неправильной первоначальной установки трубы перед развальцовкой (недостаточное ее выступание над ниппелем или матрицей) или вследствие сползания (утопания) трубы под действием осевых усилий от развальцовочной головки из-за недостаточного зажима ее в матрице;
- разрывы материала трубы из-за чрезмерного завышения ее установочной высоты при развальцовке;
- перекос конуса трубы из-за несоосности трубы и развальцовочной головки, либо из-за развальцовки трубы без фиксации ее в ниппеле или в матрице;
- наволакивание материала на конической части трубы, заусенцы из-за нарушения режима развальцовки (отсутствие смазки, заклинивание роликов головки и др.);
- растрескивание и разрывы материала трубы из-за наличия в нем волосовин, закатов и других металлургических дефектов;
- разностенность, неравномерная развальцовка (разбортовка, зиговка).

Все вышеперечисленные дефекты ведут к неравномерности соединения, поэтому при их обнаружении трубы должны подвергаться отбраковке.

Дефекты сварки (пайки) труб с арматурой. Разрушения труб по месту сварки (пайки) их с соединительными деталями, а также негерметичность соединений могут быть вызваны наличием таких дефектов, как непровар (непропай) в зоне шва, пережог материала, плохая подгонка (стыковка) свариваемых деталей и т.п. Выявление указанных дефектов наиболее эффективно осуществляется по образцу-свидетелю и с помощью макро- и микрошлифов в плоскости, перпендикулярной шву.

Повреждения соединительных элементов труб. В процессе монтажно-демонтажных работ на трубопроводах возникают следующие основные повреждения соединительных элементов труб:

- смятие и обламывание материала конической части трубы, имевшей завышенную высоту;
- смятие, "съедание" материала конической части трубы при неоднократных переборках соединения и чрезмерных его затяжках;
- смятие материала конической части трубы и вырыв ее из заделки из-за чрезмерной затяжки соединения;
- односторонняя вытяжка конической части трубы и разрыв материала трубы в этой зоне из-за наличия в соединении монтажных неточностей (перекоса, несоосности и натяга);
- срез конической части трубы при сочленении труб, развальцованных на угол 74° , со штуцерами, имеющими угол конуса 60° . Дефект встречается на изделиях, выпущенных в течение 1950 – 1955 гг., когда происходила замена нормалей ГОСТ 551-41...ГОСТ 570-41 (угол конуса 60°) нормальями МАП 1001А50, 115СТ54 и др. (угол конуса 74°);
- повреждения защитных покрытий (царапины, забоины и т.п.), являющиеся следствием использования нестандартного инструмента и небрежного выполнения монтажно-демонтажных работ.

Дефекты деталей соединительной арматуры. Детали соединительной арматуры (гайки, ниппели, штуцера, уплотнительные детали и др.) наиболее подвержены повреждениям при изготовлении, эксплуатации и ремонте трубопроводных систем монтажных заготовок. Помимо ошибок и небрежностей при проведении монтажно-демонтажных работ, дефекты деталей соединительной арматуры могут возникать вследствие эксплуатационной и ремонтной нетехнологичности соединений (из-за плохих подходов, отсутствия обзора, большого объема вспомогательных операций и т.п.), а также из-за конструктивного несовершенства соединений (недостаточной прочности отдельных элементов, нерационального выбора типа уплотнительных деталей, их посадочных мест и т.п.).

Дефекты накидных гаек. Типичными повреждениями гаек являются: разрыв контрольных отверстий; смятие граней; истирание и срез резьбы.

Разрыв контрольных отверстий затрудняет контровку соединения, однако непосредственного влияния на герметичность соединения не оказывает.

Смятие грани и повреждение резьбы - дефекты, делающие гайки полностью непригодными к дальнейшей эксплуатации.

Важными условиями предотвращения смятия граней и среза резьбы гаек являются использование качественных ключей, обеспечение удобных подходов к соединениям. Кроме того, усилия приложения к ключу не должны превышать допустимых норм.

Дефекты ниппелей. Основными повреждениями ниппелей (накидных, приварных и паяных) являются:

- продольные трещины, разрывы из-за наличия в материале ниппелей металлургических дефектов (закатов, волосовин и т.п.);
- деформация (расклинивание) вследствие недостаточной прочности ниппелей и перезатяжки соединений, забоины, царапины, вмятины и др.

Разрыв ниппеля вызывает расслабление стыка и, как следствие, негерметичность соединения. Деформация (расклинивание) ниппеля ведет к его заклиниванию в гайке.

Неисправности соединений в сборе. При испытании систем на прочность, герметичность, а также проведении монтажно-демонтажных работ и исследовании аварийных систем на трубопроводах могут быть выявлены дефекты, присущие только соединениям труб в сборе. Их можно подразделить на следующие виды: монтажные дефекты, негерметичность соединений и повреждения соединений от воздействия внешних нагрузок. Кроме того, к числу неисправностей собранных магистралей следует отнести загрязнения их внутренних полостей продуктами разрушения труб и соединительных элементов, а также попадание в систему герметизирующих смазок (составов).

Основными причинами неисправностей соединения труб в сборе являются дефекты соединительных элементов труб и деталей арматуры, монтажные неточности, недозатяжка или перезатяжка соединений, конструктивное несовершенство соединений, небрежность при монтаже и об-

служивании, а также воздействие на трубопроводы внешних нагрузок при поломках и авариях монтажных заготовок.

Монтажные дефекты соединений труб в сборе. К их числу относятся: обрыв (отсутствие) контровки; несвинчиваемость соединения из-за наличия перекоса между трубой и штуцером.

Типичным признаком перекоса в соединении является наличие одностороннего смятия (деформации) материала на конической части штуцера, одностороннего истирания (иногда и среза) витков резьбы штуцера, а также наличие на поверхности хвостовика ниппеля спиральных следов от касания гайки; неразвинчивание соединения из-за «пригорания» резьбы; провертывание гайки вместе с трубой из-за расклинивания в ней ниппеля и конической части трубы.

Негерметичность соединений труб является самым распространенным дефектом в эксплуатации трубопроводных систем. Причинами негерметичности соединений могут быть:

- потеря контакта в уплотняемом стыке трубы и штуцера из-за ослабления затяжки, усадка уплотнительных деталей и др.;
- наличие на уплотняемых поверхностях повреждений различного рода;
- временное расслабление стыка при тепловом ударе (резком охлаждении нагретых деталей соединения), когда линейное (осевое и радиальное) сжатие обхватываемых деталей (гаек) временно запаздывает относительно сжатия обхватываемых деталей (ниппеля, конической части трубы, штуцера);
- образование сквозной усталостной трещины на границе перехода конической части трубы в цилиндрическую и др.

По характеру течи рабочей жидкости в соединении можно без его разборки приблизительно определить причину негерметичности:

- а) течь рабочей жидкости через резьбовое соединение гайки и штуцера, а также из-под торца гайки свидетельствует о негерметичности стыка между трубой и штуцером;
- б) подтекание жидкости из-под хвостовика ниппеля, как правило, происходит в случае возникновения сквозной поперечной трещины в трубе, в зоне ее развальцовки;
- в) внезапное возникновение негерметичности соединения труб в горячей зоне двигателя примерно через 5...6 с после начала движения по ним охлажденной жидкости (масла, топлива) и последующее исчезновение негерметичности являются признаком теплового удара.

Рекомендации по учету и анализу неисправностей трубопроводов:

- анализ неисправностей трубопроводов гидрогазовых систем проводится с целью установления конкретных причин их возникновения и разработки мероприятий по предупреждению подобных случаев;
- регистрация (учет) неисправностей трубопроводов в процессе монтажа на ЭРП, а также получение информации о неисправностях трубопроводов, выявленных в процессе эксплуатации;
- метод устранения дефекта указывается в соответствии с классификатором и технологией ремонта изделия;
- учет неисправностей трубопроводов, выявленных на ремонтных изделиях в процессе их эксплуатации, осуществляется на АРП путем получения и обобщения информации от эксплуатирующих организаций.

При статистическом анализе неисправности трубопроводов классифицируются как по их группам и видам в соответствии с классификатором, так и по системам, участкам систем и типам (наименованиям, чертежным номерам) трубопроводов. Материал трубопроводов с часто повторяющимися и опасными дефектами подвергается тщательному анализу с целью установления возможных причин дефектов и путей их устранения. Качественный анализ проводится только по дефектам, причины возникновения которых ранее не были установлены или были установлены предположительно.

В результате качественного анализа должна быть дана объективная оценка причин образования дефектов и разработаны мероприятия по их предупреждению. Разрушения трубопроводов, являясь наиболее опасным видом неисправностей трубопроводных систем (особенно таких, как топливные, масляные, кислородные и др.), даже при единичных случаях должны тщательно ана-

лизироваться и исследоваться с привлечением при необходимости научно-исследовательских учреждений.

На основании результатов анализа неисправностей трубопроводов, связанных с ремонтом на ЭРП, разрабатываются предложения по дальнейшему совершенствованию технологии ремонта трубопроводных систем. По результатам анализа и исследования дефектов трубопроводов, возникающих в процессе эксплуатации, появляется реальная возможность выбора конфигурации и материала трубопроводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марьин, Б. Н. Изготовление трубопроводов гидрогазовых систем летательных аппаратов / Б. Н. Марьин. – М.: Машиностроение, 1988. – С. 5-45.
2. Колыхалов, Д. Г. Оценка технологичности трубопроводных систем летательных аппаратов на ранних этапах проектирования / Д. Г. Колыхалов, О. Е. Сысоев, И. Н. Иванов // Труды МАИ. – 2016. – Вып. 90. – С. 26-30.
3. Исследование совмещенных процессов при изготовлении деталей летательных аппаратов / Б. Н. Марьин, С. И. Феоктистов [и др.] // Ученые записки КНАГТУ. – 2016. – Т. 1. – № 2 (26). – С. 34-41.
4. Пат. 2337779 С2. Способ гибки тонкостенных труб с наполнителем / Марьин Б. Н.; опубл. 10.11.2008. Бюл. № 31.
5. Пат. 2322320 С2. Способ гибки тонкостенных труб / Марьин Б. Н.; опубл. 20.04.2007. Бюл. № 11.
6. Пат. 1787617 А1. Рогообразный сердечник для изготовления отводов с фланцами из трубных заготовок / Марьин Б. Н.; опубл. 15.01.93. Бюл. № 2.
7. Пат. 1581411 А1. Способ изготовления крутоизогнутых тонкостенных переходников / Марьин Б. Н.; опубл. 30.07.90. Бюл. № 28.