



Проблемы оценки качества металла, методы и объем контроля трубопроводной арматуры опасных производственных объектов

Е.С. Семенова, начальник лаборатории № 115, ЗАО «НПФ «ЦКБА»



Не секрет, что основой надежной и безопасной работы арматуры является правильный подбор металла, при котором важно рассмотреть все условия эксплуатации и факторы, воздействующие на материал основных деталей арматуры.

Неправильный подбор материала основных деталей арматуры может привести к критическим отказам, связанным с разрушением арматуры.

Разрушение корпусных деталей арматуры, эксплуатируемой на магистральных трубопроводах, химических предприятиях и других опасных объектах, по причине **ПОТЕРИ ПРОЧНОСТИ** металла, всегда является критическим отказом, поскольку связано с выходом из трубопроводов взрывоопасных, легковоспламеняющихся, горючих, токсичных веществ больших объемов и представляет угрозу жизни и здоровью людей.

Вероятными причинами разрушения корпусных деталей могут являться:

КОНСТРУКТИВНЫЙ ОТКАЗ

- неправильный выбор материала;
- ошибки в прочностном расчете;
- учет не всех режимов и условий эксплуатации.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКАЗ

- неверно назначенные режимы термообработки, сварки, наплавки и других технологических операций;
- ошибки в установлении объемов и методов контроля;
- неправильно назначенные контрольные точки выполнения технологического процесса.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОТКАЗ

- перепутывание материалов;
- нарушение технологии изготовления заготовок, сварки, наплавки, термообработки, ремонта;
- небрежность ведения документации, в том числе при проведении входного и пооперационного контроля металла;

- не выявленные дефекты основного металла и сварных соединений.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ОТКАЗ

- износ деталей (коррозионный, эрозионный и др.);
- нарушение режимов эксплуатации;
- применение арматуры не по назначению.

Важным является определение комплекса необходимых свойств материалов, обеспечивающих надежную и долговечную работу арматуры в заданных условиях эксплуатации, а также установление **необходимого и достаточного** объема и методов контроля.

В последние годы особенно актуальны работы по выбору отечественных материалов, удовлетворяющих высоким техническим требованиям, предъявляемым заказчиками (ОАО АК «Транснефть», ОАО «Газпром» и др.). Так, для литых крупногабаритных задвижек, предназначенных для эксплуатации на магистральном нефтепроводе Восточная Сибирь – Тихий океан, совместно с Алексинским заводом «Тяжпромарматура» была разработана хладостойкая модификация стали 20ГМЛ. Для этих же условий Проблемной Лабораторией новых методов выплавки стали (г. Днепрпетровск) разработана сталь 15ГСЛ. Обе эти стали включены в нормативные документы ЗАО «НПФ «ЦКБА».

Рост количества инцидентов разрушения корпусных деталей крупногабаритной арматуры при эксплуатации, испытаниях после монтажа, ремонта, выявили ряд проблем, требующих проведения научно-исследовательских работ, совершенствования нормативной базы и учета в проектной и технологической документации, в том числе:

- выбор материалов для эксплуатации при температурах ниже 0° С;
- обеспечение достоверности свойств металла, определяемых на образцах, для подтверждения свойств металла детали;
- оценка качества литого металла (необходимый и достаточный объем контроля, нормы оценки при радиографии, УЗД и контроле неметаллических включений);
- оценка трещиностойкости материалов, в том числе стойкости к хрупкому разрушению при воздействии минусовых температур.

Остановимся на ряде особо «острых» проблем.

1. Достоверность свойств металла основных деталей, определяемых на стандартных образцах

В настоящее время для оценки свойств металла используются стандартные образцы по ГОСТ 1497, ГОСТ 9454. При контроле свойств отливок образцы вырезаются из отдельно залитых пробных брусков, либо из предусмотренных литниковых «прибылей». Однако, свойства металла литой заготовки, зависящие от конфигурации и ее технологичности, химического состава и качества выплавляемой стали, условий кристаллизации, литейной технологии, полноты термической обработки, толщины стенок и других факторов могут значительно отличаться от механических свойств образцов, вырезанных из пробных брусков.

Этот факт подтверждается результатами последних исследований ЗАО «НПФ «ЦКБА» в области выявления причин разрушения литых деталей арматуры и изучения свойств литого металла.

Полученные на образцах значения механических свойств, удовлетворяющие требованиям нормативной документации, не являются залогом безотказной работы арматуры. Испытания на образцах-свидетелях – это компромисс для получения характеристик металла. Но если имеются значительные расхождения в свойствах, полученных на образцах-свидетелях, и образцах, вырезанных из детали, необходимо совершенствование системы отбора образцов, учитывающих размеры и конфигурацию детали.

На сегодняшний день подавляющее большинство арматуры изготавливается с литыми корпусными деталями, поэтому изучение действительных свойств отливок является важной задачей и необходимо для отработки технологии литья и повышения надежности литых деталей.

В результате проводимых работ в этом направлении ЗАО «НПФ «ЦКБА» выдвинуто ряд рекомендаций:

- для литых деталей рекомендовано изготавливать образцы в соответствии с ПНАЭ Г-7-025-90 (образцы, в отличие от «пальцевых», имитируют условия кристаллизации и термообработки стенки корпуса арматуры);
- для образцов, вырезаемых из проката (поковок, штамповок), необходимо учитывать ориентацию отно-

сительно направления прокатки, в связи с имеющейся анизотропией свойств (различие свойств вдоль и поперек деформированного металла). Результаты испытания на ударную вязкость одного и того же темплета стали могут значительно отличаться в зависимости от ориентации образца относительно направления волокон. Так, образцы, ось которых перпендикулярна направлению прокатки, будут иметь более низкие значения ударной вязкости. В большинстве нормативных документов (в частности, НД ОАО АК «Транснефть», ОАО «Газпром»), устанавливающих нормы по ударной вязкости, не оговаривается, как должен быть ориентирован образец. Считаем, что в НД необходимо оговаривать ориентацию образца (поперечный образец или продольный) при установлении требований по значению ударной вязкости.

2. Оценка трещиностойкости материалов, и введение требований об обязательном проведении расчета на трещиностойкость

При проведении работ по исследованию свойств металла и причин разрушения подтверждено, что достаточно высокие значения ударной вязкости (иногда превышающие нормативные значения в несколько раз) не дают гарантии того, что в условиях эксплуатации при низких температурах будет предотвращена хладноломкость материала. Вполне возможно, что другие виды испытаний обеспечили бы большую гарантию пригодности материала для этих условий.

Представляется, что ударная вязкость не должна быть единственным показателем пригодности металла для работы при низких температурах.

При эксплуатации арматуры при низких температурах возрастает опасность **хрупкого разрушения деталей** – наиболее опасного вида разрушения, который протекает катастрофически быстро и может произойти даже при сравнительно невысоком уровне средних напряжений.

К факторам, способствующим хрупкому разрушению, кроме минусовых температур следует отнести:

- низкую пластичность, характерную для высокопрочных материалов;
- геометрические особенности конструкции детали;
- наличие дефектов металла детали, сварных швов и др. концентраторов;
- динамические и циклические нагрузки.

Трещиностойкость металла снижается по мере деградации свойств, вызываемой тепловым и радиационным воздействием, а также коррозией и усталостными повреждениями при циклическом нагружении детали. Последний фактор может иметь существенное значение для арматуры магистральных нефте- и газопроводов, поэтому при обосновании прочности данной арматуры должен быть также выполнен расчет на трещиностойкость (сопротивление хрупкому разрушению).

Расчет на трещиностойкость позволяет определить расчетные значения коэффициентов интенсивности напряжений на опасных



Фото с сайта: www.vstneft.ru

участках, которые сравниваются с соответствующими допускаемыми значениями.

По мнению ЗАО «НПФ «ЦКБА», проведение расчетов на сопротивление хрупкому разрушению арматуры для нефте- и газопроводов, в особенности арматуры высокого давления, является важным условием обеспечения ее надежности и безопасности. Кроме того, очевидно, что такие расчеты можно будет использовать для обоснования прочности арматуры в случаях использования материалов с более низкими значениями ударной вязкости, чем это указано в нормативных документах ОАО «АК «Транснефть». В 2009 году был проведен ряд работ в этом направлении по стали 20ГМЛ.

Необходимо продолжать исследования в области вязкого и хрупкого разрушения, разрабатывать и совершенствовать методики расчетов хрупкого разрушения, стандартизировать их и вводить в стандарты ОАО «Газпром» и ОАО «АК Транснефть» соответствующие технические требования. К этим работам нами привлекаются институты ЦНИИТМАШ, ЦНИИ КМ «Прометей», Институт машиноведения АН РФ.

3. Оценка качества отливок, установление объема неразрушающего контроля. Установление норм допустимых дефектов

Инциденты, связанные с разрушениями шибберных задвижек, находящихся в эксплуатации, и исследование причин их разрушений, свидетельствует о необходимости совершенствования требований, предъявляемых к металлам и заготовкам (особенно литым) в части объема контроля и нормирования дефектов при неразрушающих видах контроля (радиография, УЗК), содержанию неметаллических включений и т.д.

Установленный в нормативных документах ОАО «АК «Транснефть» объем и методы контроля литых и литосварных корпусов задвижек (визуально-измерительный контроль – 100% и акустико-эмиссионный контроль – 100%), как оказалось, не обеспечивает надлежащего качества отливок.

Дополнительному объему контроля (УЗК и магнитопорошковой дефектоскопией) подвергаются только концы литых патрубков и сварные швы.

При изучении причин и анализе разрушения крупногабаритных литых корпусов арматуры, установлено:

- места срезки литейной прибыли являются концентраторами напряжения. Имеют место случаи, когда именно в месте срезки образуются трещины, которые развиваются в процессе эксплуатации. Считаем необходимым для мест срезки литейной прибыли ввести дополнительные виды неразрушающего контроля.

- методы неразрушающего контроля не позволяют выявить поры и неметаллические включения размером до 0,5 мм (и их скопления), которые

оказывают существенное влияние на свойства отливки. В результате, арматура проходит выходной контроль на заводе без замечаний, а потом разрушается в процессе эксплуатации.

4. Установление необходимости контроля неметаллических включений

Наиболее значительным для обеспечения надежности деталей арматуры является влияние неметаллических включений. При хрупком разрушении неметаллические включения опасны как первичный очаг. Хрупкое разрушение могут вызвать как крупные включения, так и скопление мелких. Неметаллические включения увеличивают анизотропию свойств, особенно показатели пластичности – относительное сужение и удлинение, и играют большую роль в усталостной прочности стали. Вблизи включений напряжения растут, что приводит к возникновению микротрещин. Микронапряжения в окрестностях включений, вызванные различием физических свойств металла и включений, достигают 250 МПа. Неметаллические включения, выходящие на поверхность изделия или залегающие вблизи нее, могут стать очагом усталостной трещины и создавать внутренние напряжения в металле. В НД на арматуру для нефтепроводов контроль неметаллических включений сегодня не предусмотрен. В связи с этим представляется необходимым ввести обязательный контроль неметаллических включений.

В заключение еще раз обозначим наиболее актуальные на сегодняшний день работы, направленные на обеспечение надежности и безопасности арматуры, связанные с ее материальным исполнением:

1. Расширение номенклатуры отечественных сталей, применяемых в арматуростроении, отвечающих по своим характеристикам конкретным требованиям заказчиков;
2. Анализ технологических процессов и контрольных операций при изготовлении заготовок для основных деталей арматуры, с целью выявления операций,



Фото с сайта: libymax.ru

нарушение которых может привести к критическим отказам изделия;

3. Повышение качества корпусных деталей арматуры трубопроводного транспорта нефти и газа за счет:

- внедрения регламента оценки качества стальных отливок в соответствии с ПНАЭ Г-7-025-90 «Стальные отливки для атомных энергетических установок. Правила контроля», введения контроля неразрушающими методами и норм дефектов;
- исследований, с целью установления взаимосвязи в свойствах, полученных на образцах-свидетелях, со свойствами металла литых деталей и усовершенствования системы отбора образцов, учитывающих размеры и конфигурацию детали;



Фото с сайта: rus.ruvr.ru

- исследований, с привлечением ведущих металлургических институтов, в области вязкого и хрупкого разрушения металла корпусных деталей арматуры, с целью создания соответствующей методики расчета и введения в стандарты ОАО «Газпром» и ОАО «АК «Транснефть» требования проведения расчетов хрупкого разрушения арматуры;

- указания в НД ориентации образцов для испытания на ударную вязкость на деформированные заготовки;

- введения в нормы контроля качества отливок оценку количества неметаллических включений по нормам ГОСТ 1778-70 «Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений»;

- установления в НД норм балла зерна на металлографическом шлифе с целью оптимизации механических свойств отливки.

В связи с вышеизложенным, считаем целесообразным откорректировать стандарт СТ ЦКБА 014 «Арматура трубопроводная. Отливки стальные. Общие технические условия» в части норм оценки качества литого металла. В других стандартах, устанавливающих нормы механических свойств, в т.ч. по ударной вязкости – уточнить направление вырезки образцов и их размеры.

При корректировке ОТТ для арматуры на трубопроводный транспорт нефти и газа рассмотреть вопрос о необходимости введения требования проведения расчета на трещиностойкость материалов основных деталей.