

АКТУАЛЬНО

К вопросу качества крепежа для фланцевых соединений аппаратов высокого давления

А. А. НЕМКОВИЧ, директор по развитию ООО «Завод металлоконструкций «Спецмашметиз»

В СТАТЬЕ РАССМОТРЕНЫ КРЕПЕЖ ИЗ ХРОМОМОЛИБДЕНОВЫХ, ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВЫХ И ХРОМОМОЛИБДЕНОВАНИДИЕВЫХ СТАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЙ ДЛЯ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА АППАРАТАХ И ТРУБОПРОВОДАХ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ВЫСОКИЕ ДАВЛЕНИЯ И ВЫСОКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ПРИ КОТОРЫХ ПРОХОДЯТ ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И ГАЗОХИМИИ, ПРЕДЪЯВЛЯЮТ ПОВЫШЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КРЕПЕЖА.

НОРМАТИВНАЯ БАЗА

В России крепеж для фланцевых соединений нормирован группой стандартов на геометрические размеры шпилек и гаек. Наиболее часто применяемые ГОСТ 9066-75, ОСТ 26-2040-96 на шпильки и ГОСТ 9064-75, ОСТ 26-2041-96 на гайки. Технические требования к этому крепежу заданы ГОСТ 20700-75 и СТО 00220256-024-2016, они определяют механические свойства, технологию изготовления, допуски, уровень контроля, требования к маркировке, паппортам, упаковке. Стандарт СТО 00220256-024-2016 разработан взамен СТП 26.260.2043-2004, который в свое время заменил ОСТ 26-2043-91.

Стандарты схожи по уровню механических свойств, но отличаются допустимым диапазоном применения по температурам и давлениям. Так, температурный диапазон по ГОСТ от 0 °С до +650 °С, а по ОСТ, СТП и СТО от -70 °С до +650 °С. По давлениям ГОСТ 20700-75 не ограничивает верхний предел для легированных хромомолибденовых сталей. Отраслевые стандарты ОСТ 26-2043-91, СТП 26.260.2043-2004 лимитировали давление применения этих сталей до 16 МПа. Разработанный на смену стандарт СТО 00220256-024-2016 расширил верхний порог давления до 21 МПа. При этом в ОСТ 26-2040-96 на геометрические размеры остались ограничения применения шпилек до 16 МПа.

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМЫ

Материалы, применяемые для крепежа технологических аппаратов НПЗ, должны обладать прочностью и тепловой устойчивостью во всем диапазоне рабочих температур. Важна также ударная вязкость стали, характеризующая стойкость стали к хрупкому внезапному разрушению. Металл крепежных деталей применяется в улучшенном состоянии (закалка + высокотемпературный отпуск) с пределом прочности не ниже 785 МПа по ГОСТ (или не менее 860

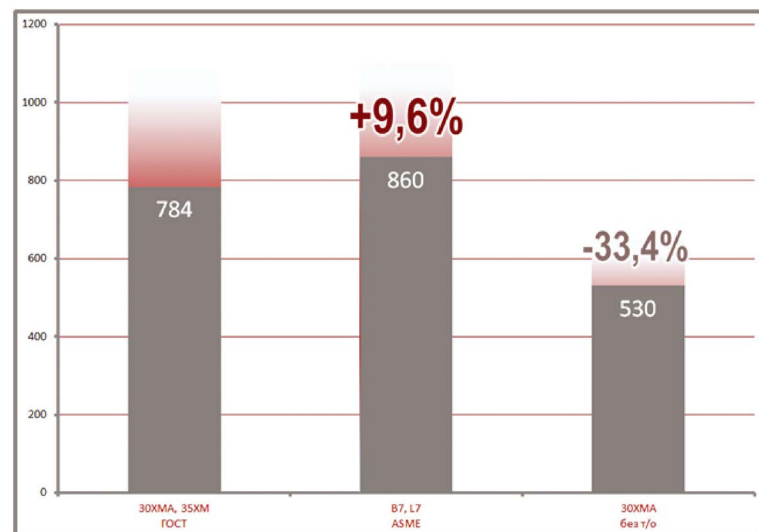


Рис. 1. Прочность ХМ-сталей с термообработкой и без термообработки.

МПа по ASME). Для обеспечения тепловой устойчивости заготовки крепежа должны быть подвергнуты отпуску при температуре не менее чем на 100 градусов выше разрешенной температуры применения крепежной детали (см. п. 1.4 ГОСТ 20700-75). Это требование важно для гарантированной защиты крепежа от разупрочнения при рабочей температуре и последующей разгерметизации соединения. Допускаемые температуры применения крепежных сталей определяются действующими стандартами и правилами, разработанными еще в 70-х годах прошлого века.

Стоит отметить, что далеко не все участники крепежной индустрии соблюдают требования по качеству термообработки. Как правило, причины в неправильно поставленной технологии термообработки или в передаче термообработки на субподряд якобы специализированным фирмам, мало разбирающимся в крепежных стандартах. Результатом являются нестабильность свойств в партии крепежа, низкая прочность и низкий предел текучести таких шпилек, из-за чего они «тянутся» еще на стадии монтажа (вся партия или часть партии, что еще хуже). Говорить о надежной герметичности таких фланцевых соединений вообще не приходится, поскольку с повышением температуры предел текучести снижается. На рынке также встречается крепеж, закалка и отпуск которого выполняются после нарезки или накатки резьбы без применения защитной атмосферы, что противоречит требованиям стандартов и приводит к обезуглероживанию и снижению прочности поверхностного слоя резьбового профиля.

Встречаются случаи, когда производители крепежа вообще не знают (или делают вид, что не знают) о необходимости термической обработки крепежной заготовки вопреки прямому требованию стандартов (см. п. 1.4 ГОСТ 20700-75). Иногда такие изготовители ссылаются на металлургические сертификаты, ошибочно полагая, что свойства металлу уже придал металлургический завод (путают свойства тестовых испытаний закаленных образцов с фактическими свойствами плавки). Стоит отметить, что предел прочности на растяжение для хромомолибденовых сталей, выходящих с металлургического завода, как правило, находится в диапазоне 530-650 МПа, что на 20-30% ниже требований ГОСТа. Иногда приходится видеть в заявках обозначения типа «шпилька ГОСТ 9066-75 термически обработанная». Вероятно, таким образом механики страхуются от некомпетентных поставщиков.

К сталям, применяемым для крепежа, работающего при высоких давлениях и температурах до +450 °С в России и СНГ, как правило, относят хромомолибденовые стали типа 35ХМ, 38ХМА, 30ХМА. В зарубежной практике наиболее распространена марка ASME SA-193 Grade B7, ближайшим аналогом которой является сталь 38ХГМ по ГОСТу. Для крепежа больших сечений выше 50 мм рекомендуется легирование ХМ сталей никелем, однако стали типа 40ХН2МА, 38Х2Н2МА не включены в российские стандарты крепежа для нефтехимии, хотя могут успешно применяться для этих задач. Например, подобные марки металла используются для крепежа согласно стандартам ASME SA-320, ASME SA-540.

Стали, применяемые при температурах до +510 °С ...+565 °С, дополнительно легируют ванадием. К таким маркам в отечественной практике относятся 25Х1МФ, 25Х2М1Ф, 20Х1М1Ф1ТР. По американскому стандарту ASME SA-193 для температур до +550 °С применяется также хромомолибденованадиевая марка В16, но с более высоким содержанием углерода.

АКТУАЛЬНО

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ И МАРКИ СТАЛИ НА СВОЙСТВА

Технология термообработки оказывает существенное влияние на механические свойства детали. Под технологией термообработки уместно понимать целый комплекс вопросов:

- аппаратное обеспечение (печи, закалочные баки)
- вид и качество закалочных сред (масло, вода, полимерные эмульсии и прочее)
- температура и скорость нагрева под закалку в печи
- время выдержки при нагреве под закалку
- температура закалочной среды (температура бака в течение рабочей смены)
- наличие устройств для управляемой интенсификации теплообмена (барботаж, мешалки и прочее)
- наличие системы охлаждения и поддержания заданного диапазона температуры закалочных баков



Рис. 2. Влияние времени нагрева 40ХН2МА d100 мм на свойства.

- температура отпуска и время выдержки при отпуске
 - скорость охлаждения деталей после отпуска
 - конструкция закалочной и отпускной оснастки
 - расположение деталей в садке
 - наличие системы учета и применения предыдущего опыта
 - повторяемость режима термообработки от садки к садке
- Основным критерием, влияющим на микроструктуру и свойства закаленной стали, является скорость охлаждения при закалке. Причем важно, чтобы скорость охлаждения была достаточно быстрой во всем диапазоне от температуры нагрева под закалку (как правило это +860 °С...+880 °С для рассматриваемых марок) до +300 °С...+350 °С. В этом диапазоне температур скорость охлаждения должна достигать десятков градусов в секунду. Критическая скорость

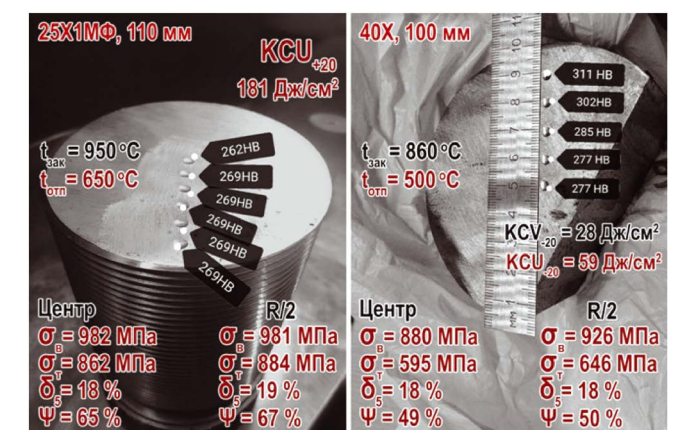


Рис. 3. Влияние химического состава стали на свойства.

АКТУАЛЬНО

определяется диаграммами равновесного состояния для каждой конкретной марки стали. От фактической скорости охлаждения в каждой конкретной точке сечения детали зависит, по какому сценарию превращения идет закалочный процесс в этой точке. Фактическая скорость охлаждения каждой отдельной детали в садке, причем как поверхности, так и внутренних слоев изделия, зависит от ряда факторов, описанных выше.

Обеспечить закалку шпилек с диаметром до 25-27 мм – достаточно простая задача. Закалка крепежа диаметром 30-100 мм требует более тщательного процесса, причем сложность повышается с ростом диаметра. Прокаливаемость (закаливаемость на определенную глубину) определяется как химическим составом стали, так и технологическими приемами при закалке и отпуске.

Для иллюстрации можно привести два образца из одной и той же плавки стали 40ХН2МА, закаленные и отпущенные почти по одинаковым режимам. Эти испытания проведены при выходе на режим термообработки шпилек М90х760 с требованиями свойств по ASTM A320 L43 в августе 2019 года. Представленные распилы закаленных заготовок выполнены с отступом 130-150 мм от торцевых поверхностей. Температура отпуска обоих образцов одинакова, прочие параметры процесса также неизменны. Разница составила дополнительные полчаса выдержки под закалку после прогрева садки. Второй образец прокалился глубже и интенсивнее, при этом получена и более высокая твердость поверхности. Механические испытания образцов показали также отличающиеся результаты. Причем первый образец немного «не дотягивал» по свойствам до требуемого уровня, а второй образец показал необходимые результаты с некоторым запасом. В итоге технология второго образца была принята для всей партии. Аналогичным образом на результат термообработки влияют и прочие параметры технологии.

Для иллюстрации влияния легирующих элементов на результаты термообработки заготовок схожих размеров представлены фактические свойства заготовок из стали 25Х1МФ диаметром 110 мм и из стали 40Х диаметром 100 мм. Сталь 25Х1МФ за счет легирования ванадием имеет глубокую прокаливаемость (практически однородно на всю глубину сечения). Характерно, что при уровне твердости ниже стали 40ХН2МА, что обусловлено более высоким отпуском, сталь 25Х1МФ показывает более высокий уровень прочностных характеристик. Причем механические свойства равномерно распределены по сечению шпильки. Сталь 40Х в крупных сечениях имеет ярко выраженный градиент свойств на понижение прочности и твердости в направлении центра. Предел текучести в середине детали практически не имеет запаса к требованиям ГОСТа. Кроме того, сталь 40Х демонстрирует достаточно низкую стойкость к хрупкому разрушению.



Рис. 4. Примеры маркировки тарных мест.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗАКУПОК

Есть поговорка: «Новое – это хорошо забытое старое». Во многом это применимо к крепежу для фланцевых соединений. Основная логика обеспечения надежности свойств крепежа была заложена еще в советские ГОСТы в 70-х годах прошлого века, в частности в ГОСТ 20700-75, ГОСТ 10494-80, ГОСТ 11447-80. Еще в те времена была продумана и внедрена в стандарты прослеживаемость партий крепежа от плавки стали до выпуска и эксплуатации готовой крепежной детали. Причем размер партии лимитировался сменной производительностью закалочной и отпускной печи, а в особо ответственных случаях размером разовой садки заготовок в печь.



Рис. 5. Маркировка крепежа М56х3х800.25Х1МФ. Партии 3906, 3907.

При соблюдении стандартов выполняется сквозная прослеживаемость каждой конкретной шпильки или гайки. По номеру партии и товарному знаку изготовителя, которые должны быть маркированы ударным способом на торце каждой шпильки (см. п. 4.3 ГОСТ 20700-75, п. 5.2...5.5 ГОСТ 10494-80, ГОСТ 11447-80), в паспорте изделия предусмотрена возможность увидеть свойства, т. е. фактические результаты испытаний партии, дату изготовления и размер этой партии (см. п. 4.11 ГОСТ 20700-75, п. 5.6 ГОСТ 10494-80, ГОСТ 11447-80). В мировой практике в сертификате также содержатся сведения о режиме термической обработки (помимо номера плавки, химического состава стали и свойств партии). Таким образом, пользователь крепежа имеет сведения о температурном запасе металла крепежной детали в сравнении с фактической температурой аппарата. В общем, теоретическая основа и нормативная база надежности крепежа для аппаратов имеются в достаточном количестве.

Однако повсеместная практика достаточно далека от теории и стандартов. Часто производитель не клеймит продукцию ни товарным знаком, ни тем более номером партии. И связано это вовсе не с трудоемкостью и сложностью самого клеймения. Главной причиной является неготовность к какому-либо учету партий изготавливаемой продукции. Упрощения настолько укоренились в российской действительности, что порой заказчики неуверенно интересуются, а будут ли заказываемые крепежи иметь хотя бы какую-то маркировку (логотип, марку стали).

Паспорта и сертификаты на крепеж зачастую не содержат каких-либо сведений, кроме наименования изделия, марки стали и количества отгруженной продукции. По сути, такой технический документ лишь дублирует отгрузочную накладную, хотя и называется паспортом. Прослеживаемость такого крепежа, получен-

ного на склад НПЗ, затруднительна и возможна лишь до выдачи крепежа в цех. После вскрытия тары и монтажа обеспечить прослеживаемость шпилек практически нереально, доказать несоответствие и привлечь к ответственности поставщика еще сложнее.

Обеспечение партионного учета при серийном и мелкосерийном производстве, каковым зачастую является изготовление крепежа для фланцевых соединений, достаточно трудоемкая задача. При фактически работающей системе партионного учета требуется слаженная работа всех служб и процессов метизного предприятия: закупка металла, хранение металла, раскрой заготовок, прослеживаемость по стадиям обработки, контроль и фиксация результатов, упаковка, хранение и отгрузка готовой продукции, оформление паспортов на продукцию. На всех этих стадиях повышается трудоемкость и требуется внимательность персонала. Существенная зависимость имеется и от поставщиков металлопроката, от которых требуется плавочный учет хранящегося и отгружаемого металла. Не менее важна работа по управлению процессами предприятия в случаях несоответствия, описанная в стандартах серии ИСО 9001. Однако в долгосрочной перспективе наличие учета партий снижает затраты на наладку процессов, механические испытания и отбраковку благоприятно влияет на качество и стабильность свойств крепежа.

Вероятно, технические сложности реализации описанных процессов, неготовность финансирования подобных систем, а иногда отсутствие компетенций персонала заставляют производителей крепежа упрощать технологии учета и производства. Активное внедрение тендерных процедур, нацеленных главным образом на минимизацию стоимости закупок, способствуют продвижению производителей, не выполняющих законные требования стандартов. Свой вклад в эти процессы вносят и некоторые заказчики, не разделяющие крепеж на партии из-за сложностей такого учета ТМЦ на своих складах, что поощряет производителей жертвовать качеством.

Ответом этим вызовам современности может быть активная позиция технических служб НПЗ, и, в частности, отделов главных механиков. Не секрет, что наличие в технических за-

даниях тендерной документации конкретно выраженных и подробно описанных технических задач к закупаемой продукции дисциплинирует участников закупок и заставляет их повышать уровень качества и контроля. Активность некомпетентных поставщиков в таких конкурсных процедурах обычно снижается. Кроме наименований и количества продукции, в технические задания уместно включать, а потом контролировать соблюдение требований к продукции:

- Маркировка изделий должна быть выполнена ударным способом и соответствовать п. 4.3 ГОСТ 20700-75 (номер партии, марка стали, клеймо производителя).
- Крепежные изделия должны поставляться с паспортом или сертификатом качества, содержащим номер партии, марку стали, номер плавки и химический состав, сведения о режиме термообработки партии, фактическую твердость партии после термообработки, фактические результаты контроля механических свойств партии.

Как уже было указано выше, подобные требования в полной мере соответствуют и мировой практике. В частности, стандарты ASME требуют аналогичных подходов к маркировке, учету и сертификации продукции. Хорошим и весьма распространенным примером в мире являются сертификаты типа 3.1 по BS EN 10204:2004.

Для оценки претендентов на этапе отбора целесообразно изучать опыт поставщиков (референс-лист), наличие отзывов других заказчиков, наличие системы менеджмента качества, образцы предоставляемых поставщиками паспортов и сертификатов, оснащенность оборудованием для термической обработки. Если изготовитель соблюдает технологию производства и программу испытаний, ведет партионный учет продукции, то не возникает больших сложностей при маркировке крепежа и при оформлении сертификатов, содержащих все свойства продукции. Как правило, качество и надежность такого крепежа соответствуют задачам успешного монтажа и безопасной эксплуатации аппаратов и трубопроводов высокого давления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 9066-75 Шпильки для фланцевых соединений с температурой среды от 0 до 650 °С. Типы и основные размеры.
2. ОСТ 26-2040-96 Шпильки для фланцевых соединений. Конструкция и размеры.
3. ГОСТ 9064-75 Гайки для фланцевых соединений с температурой среды от 0 до 650 °С. Типы и основные размеры.
4. ОСТ 26-2041-96 Гайки для фланцевых соединений. Конструкция и размеры.
5. ГОСТ 20700-75 Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых и анкерных соединений, пробки и хомуты с температурой среды от 0 до 650 °С. Технические условия.
6. СТО 00220256-024-2016 Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых соединений. Технические требования.
7. СТП 26.260.2043-2004 Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых соединений. Технические требования.
8. ОСТ 26-2043-91 Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых соединений. Технические требования.
9. ASME SA-193/SA-193M Specification for alloy-steel and stainless steel bolting for high-temperature or high pressure service and other special purpose applications.
10. ASME SA-320/SA-320M Specification for alloy-steel and stainless steel bolting for low-temperature service.
11. ASME SA-540/SA-540M Specification for alloy-steel bolting for special applications.
12. ГОСТ 10494-80 – Шпильки для фланцевых соединений с линзовым уплотнением на Ру свыше 10 до 100 МПа (свыше 100 до 1000 кгс/см²). Технические условия.
13. ГОСТ 11447-80 – Шпильки упорные на Ру свыше 10 до 100 МПа (свыше 100 до 1000 кгс/см²). Технические условия.
14. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 – Системы менеджмента качества. Требования.