

О КОНТРОЛЕ УСИЛИЙ ЗАТЯЖКИ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ



Являясь ответственным производителем и поставщиком промышленных уплотнений, научно-производственная компания «ИЛЬМА» занимается подбором оптимальных решений для герметизации разъемных соединений оборудования и трубопроводов, с учетом предполагаемого усилия на уплотнение. Рекомендации основаны на данных, полученных путем расчетов в компьютерных программах, для соединений конкретного типа при заданных параметрах эксплуатации, с учетом прочности крепежных изделий и фланцев. Но, как показывает практика, в реальных условиях существует ряд факторов, влияние которых сложно отразить и учесть в автоматических расчетных методиках, например, непараллельность и несоосность фланцев, состояние уплотнительных поверхностей, а также удобство монтажа уплотнений и метод контроля затяжки крепежа при сборке. Тем не менее мы исходим из того, что следование рекомендациям по монтажу уплотнений поможет свести к минимуму возникновение нештатных ситуаций. Ведь для каждой заданной комбинации прокладки, крепежа и фланца существует диапазон нагрузок, при котором соединение будет достаточно затянуто для того, чтобы обеспечивать герметичность, и при этом будет исключено превышение нагрузки, которое может повлечь за собой выход из строя компонентов соединения. Несоблюдение рекомендаций по работе в данном диапазоне нагрузок может привести к разгерметизации соединения, что, в свою очередь, создаст опасность для здоровья обслуживающего персонала и состояния окружающей среды и, без сомнения, приведет к потерям ресурсов из-за простоя и незапланированного ремонта оборудования.

В учебном пособии «Герметичность разъемных соединений оборудования, эксплуатируемого под давлением рабочей среды» В. Д. Продан отмечает, что затяжка приложением крутящего момента к гайке до недавнего времени была «единственным способом и существует столько, сколько известны резьбовые соединения; является наиболее простым и поэтому наиболее распространенным (способом — прим. ред.). Его недостаток – участие сил трения в силовом равновесии гайки при ее затяжке, что существенно снижает эффективность способа. Только около 10% всей затрачиваемой на затяжку соединения работы является полезной – используется на создание осевой силы, до 50% теряется на преодоление сил трения на торце гайки и до 40% – на преодоление сил трения в резьбе». Также автор пособия отмечает, что значение коэффициентов трения на опорной поверхности гайки и в резьбе зависит от многих факторов: материала резьбовой пары, усилия затяжки, ее повторности, скорости завинчивания, вида покрытия резьбы и условия ее смазки.

Авторитетные производители уплотнений и уплотнительных материалов разрабатывают и постоянно обновляют компьютерные программы для подбора уплотнений с учетом предполагаемого усилия и потерь из-за преодоления сил трения. В частности, такие программы есть у австрийской компании Rich. Klinger Dichtungstechnik (лидера в области производства листовых уплотнительных материалов) и немецкой компании Klinger Kempchen (авторитетного производителя комбинированных уплотнений для разъемных соединений ответственного оборудования).

В. Д. Продан в вышеупомянутом пособии отмечает: «Сложность создания на практике заданной силы затяжки крепежных деталей заключается в том, что ее, как правило, нельзя измерить непосредственно при сборке. Силу затяжки определяют косвенно, расчетом по какой-либо измеренной величине: приложенному крутящему моменту, углу поворота гайки, удлинению стержня болта, сжатию стягиваемых деталей, давлению или температуре в энергосистеме нагружающего устройства и др.».

В связи с тем, что все условия сборки и эксплуатации сложно принять во внимание, компьютерные программы производителей уплотнительных материалов основаны на упрощенном расчете, а результаты расчетов принимаются с запасом. При этом быстро выполняемые расчеты позволяют сравнивать различные комбинации элементов разъемных соединений на начальных стадиях проектирования. При расчетах используются подробные характеристики прокладок и уплотнительных материалов, которые нагружены как большие массивы данных, и это позволяет учесть в расчете разные аспекты конкретного применения.

Например, в программе Klinger Expert можно выбрать следующие опции:

- Wrench – затяжка «от руки» ключом стандартной длины (то есть неконтролируемая затяжка);
- Torque wrench – затяжка динамометрическим ключом;
- Hydraulic tensioner – затяжка посредством предварительного осевого растяжения шпильки гидравлическим устройством;
- Wrench Turn-of-Nut tightening – контроль затяжки по углу поворота гайки.

Использование этих опций позволяет корректировать данные расчетов, чтобы компенсировать влияние неравномерного распределения нагрузки на прокладке, вызванное неточностью способа контроля момента.

ПРИНЦИП РАБОТЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ ДИНАМОМЕТРИЧЕСКИХ КЛЮЧЕЙ

Наиболее доступный инструмент для обеспечения расчетной нагрузки при сборке разъемного соединения и создания определенной силы на прокладке – это динамометрический ключ (гаечный ключ, в который встроен динамометр).

Динамометрический ключ – это специальный инструмент, предназначенный для создания определенной нагрузки при затяжке крепежа. При затяжке крепежных элементов соединения крутящий момент не должен быть слишком большим или слишком маленьким, он должен быть оптимальным для того, чтобы обеспечить надлежащую нагрузку и одновременно гарантировать целостность компонентов фланцевого соединения. Принцип кажется простым, однако необходимо учитывать несколько важных факторов, чтобы гарантировать безопасность и точность усилия при затяжке. Современная промышленность предлагает широкий выбор динамометрических ключей, в зависимости от бюджета и конкретных задач. Ниже представлено описание основных видов и некоторых типов инструментов, которые используются для затяжки разъемных герметичных соединений с уплотнениями.

Согласно классификации, которую приводит в учебном пособии В. Д. Продан, по способу контроля крутящего момента ключи делят на три вида:

- 1) динамометрические, которые снабжены специальным устройством, непрерывно показывающим значение момента, создаваемого при затяжке резьбового соединения;
- 2) предельные, которые отключаются при достижении заданного предельного момента;
- 3) ключи, конструкция которых не предусматривает фиксацию или ограничение крутящего момента.

Также В. Д. Продан отмечает, что «часто на практике контроль силы затяжки подменяется опытом рабочего, выполняющего эту операцию. Считают, что рабочий «чувствует» сопротивление на ключ и по нему определяет требуемый момент затяжки. При этом существенное значение в оценке силы затяжки имеют длина ключа, опыт рабочего, его физическая подготовка и др. Как показали результаты специальных исследований, затяжка вручную ключом без добавления рычага позволяет затянуть болты М16–М18. Наиболее оптимальный размер – М12. Если размер болта больше М12, то наблюдается недогрузка, если меньше – то перегрузка. И даже для оптимального размера М12 при ручной неконтролируемой затяжке разброс значений усилия в отдельных крепежных элементах соединения достигает 200%». Если исходить из того, что точность создания на практике заданного усилия затяжки крепежных деталей напрямую влияет на надежность работы разъемных соединений аппаратов и трубопроводов,

то использование средств механизации затяжки крепежных резьбовых элементов, которые предусматривают фиксацию или ограничение крутящего момента, представляется важным условием, которое минимизирует влияние «человеческого фактора» и определяет стабильность и долговечность работы всех деталей соединения.

Далее будут рассмотрены три типа динамометрических ключей, которые наиболее часто используются при сборке неподвижных разъемных соединений с крепежом. Именно эти три типа ключей упоминает М. Линкольн (Michele Lincoln), член Американской Ассоциации по Уплотнительной Технике (Fluid Sealing Association – FSA), в своей статье Using a Torque Wrench to Apply Stress to a Gasket («Использование динамометрического ключа для придания усилия на прокладке»), опубликованной в журнале Pumps&Systems («Насосы и системы») в декабре 2013 года. Информация о характеристиках ключей и их преимуществах и недостатках взята из других открытых источников. Нужно отметить, что с момента написания статьи М. Линкольном производители динамометрических ключей выпустили на рынок другие типы устройств, изготовленные с применением современных технологий. Тем не менее на большинстве предприятий продолжают использовать динамометрические ключи, описанные ниже.

Итак, самый популярный ключ предельного типа – щелчковый. Механизм этого инструмента базируется на действии пружины, поэтому данный ключ также называют пружинным. А среди ключей, которые снабжены специальным устройством, непрерывно показывающим значение момента, создаваемого при затяжке резьбового соединения, выделяют стрелочные (также они называются торсионными) и электронные (с цифровой индикацией).

ДИНАМОМЕТРИЧЕСКИЕ КЛЮЧИ ПРЕДЕЛЬНОГО ТИПА (ЩЕЛЧКОВЫЕ)

Динамометрические ключи предельного типа используются для быстрой затяжки резьбовых соединений с заранее заданным крутящим моментом. Самый простой тип – узкоспециализированные щелчковые ключи с предустановленным моментом. Это простые приборы, у которых нет регулятора установки значения усилия. В таких ключах изначально заложена определенная величина момента, поэтому подходят они для выполнения конкретных узкоспециализированных задач. У ключа с предустановленным моментом очень узкая сфера применения, но есть и преимущество – долгий срок службы из-за отсутствия в конструкции хрупких элементов индикации усилия. На регулируемых щелчковых ключах есть возможность установить



необходимую величину момента в пределах диапазона, указанного в сопроводительной технической документации к прибору. Такой инструмент является многофункциональным, может иметь насадки и переходники для использования в разных сферах и решения различных задач.

Минусами ключей предельного типа являются:

- невозможность измерения величины момента в процессе затяжки, пока не достигнуто установленное значение, что обусловлено отсутствием индикации;
- погрешность в работе такого ключа составляет $\pm 4...6\%$, при условии, что своевременно выполняется поверка и калибровка инструмента;
- пружина хоть и отличается надежностью, но со временем ослабевает и теряет свои свойства, что приводит к необходимости постоянного контроля за состоянием прибора и своевременной калибровкой;
- эксплуатация требует внимательности персонала: для корректной работы в пределах гарантийного срока службы прибор после каждого использования должен храниться с установленной на нем минимальной величиной момента.

Но, несмотря на минусы, ключи щелчкового типа имеют два существенных плюса: простота использования и возможность определять предельное усилие по щелчку в ограниченных условиях доступа к крепежу, когда визуальная индикация сильно затруднена.

СТРЕЛОЧНЫЕ ДИНАМОМЕТРИЧЕСКИЕ КЛЮЧИ

Самый простой и популярный динамометрический ключ с индикацией – стрелочный. Величина усилия на таком приборе не задана заранее, она отслеживается в процессе затяжки по стрелочному указателю. Такие ключи в конструкции могут иметь одну или две стрелки. Приборы с двумя стрелками позволяют не только контролировать текущую величину прилагаемого усилия, но и заранее устанавливать предельное значение. Стрелочные

индикаторы на ключах бывают двух видов: прямые и круглые, при этом приборы с круглым индикатором более компактны и удобны в эксплуатации.

Минусы ключей стрелочного типа:

- максимальная величина погрешности стрелочных ключей с круглым индикатором составляет до $\pm 6\%$, в то время как инструменты с прямым индикатором имеют большую погрешность, равную $\pm 8...15\%$.
- стрелочные ключи – очень хрупкие приборы, с системой индикации, чувствительной к ударам;
- во время работы может быть затруднен доступ к индикации, в этом случае работу приходится приостанавливать, чтобы проконтролировать величину усилия затяжки;
- со временем такие ключи утрачивают точность и не поддаются калибровке.



ЭЛЕКТРОННЫЕ ДИНАМОМЕТРИЧЕСКИЕ КЛЮЧИ

Электронные приборы с цифровой индикацией – это модернизированные модели стрелочных динамометрических ключей. Шкалу со стрелкой на таких приборах заменяет дисплей, именно на нем отображаются соответствующие значения момента. Основным преимуществом электронных ключей является высокая точность показаний (погрешность не более $\pm 1\%$). При сборке разъемных болтовых соединений ответственного оборудования используются именно такие ключи. Большинство современных моделей ключей с цифровой индикацией снабжены подсветкой, поэтому пользоваться ими можно даже в труднодоступных и плохо освещенных местах.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ДИНАМОМЕТРИЧЕСКИХ КЛЮЧЕЙ

При использовании динамометрических ключей важно соблюдать правила эксплуатации и обслуживания. В частности:

- Нельзя превышать рекомендуемый рабочий диапазон динамометрического ключа.
- Нельзя удлинять рукоятку ключа дополнительными приспособлениями.
- Важно избегать падений приборов с индикацией. Это может привести к потере калибровки либо полному выходу ключа из строя.
- После 5000 циклов использования (или минимум 1 раз в год) динамометрический ключ должен быть проверен и откалиброван производителем или авторитетной службой калибровки.
- После использования динамометрического ключа пружинного типа он должен храниться с индикатором, установленным на самом нижнем уровне шкалы.
- Динамометрический ключ должен использоваться для приложения определенного крутящего момента только на этапе окончательной сборки соединения. Не допускается использование динамометрического ключа для ослабления крепления, а тем более для вывинчивания и срывания крепежных элементов.
- Нужно соблюдать технику безопасности и всегда носить защитные очки при использовании любого ручного инструмента.

Важно понимать, что в случае сборки разъемного соединения с уплотнением выбор оптимального крутящего момента зависит от используемого прокладочного материала, класса крепежа, прочности фланцев, а также размеров уплотнительных поверхностей и эксплуатационных параметров. Нельзя полагаться на таблицы подбора крутящего момента, найденные в свободном доступе, потому что при составлении этих таблиц использовались обобщенные данные, которые имеют мало общего с конкретными условиями применения. Также нужно помнить: во избежание передавливания уплотнения и порчи крепежа и уплотнительных поверхностей затяжка болтов должна производиться пошаговым перекрестным способом.

При подготовке статьи использованы следующие источники:

1. Using a Torque Wrench to Apply Stress to a Gasket, FSA member Michele Lincoln, Pumps&Systems magazine, December 2013.
2. Герметичность разъемных соединений оборудования, эксплуатируемого под давлением рабочей среды: учебное пособие / В. Д. Продан. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТТГУ», 2012.

В рамках проекта «Школа герметизации» специалисты ИЛЬМА проводят тренинги, семинары и индивидуальное обучение персонала заказчиков, на которых в том числе рассматриваются способы выбора и расчета уплотнений с применением компьютерных программ. С 2021 года ИЛЬМА переводит обучение в формат вебинаров. Анонсы мероприятий публикуются на сайте www.ilma-sealing.com.

Информация предоставлена Службой маркетинга ООО «ИЛЬМА», январь 2021 года