

В. С. ГАПОНОВ, д-р.техн.наук, проф., проф. НТУ «ХПІ»;

Ю. Д. МУЗЫКИН, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»;

В. В. ТАТЬКОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»;

Г. Г. КУЛИК, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»;

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КОНТРОЛИРУЕМУЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНУЮ ЗАТЯЖКУ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.

Показаны технические решения, обеспечивающие предварительную затяжку в резьбовых соединениях, а также предложены пути их реализации в современном производстве.

Ключевые слова: резьбовые соединения, болтовое соединение, гидравлическая гайка, плотность стыка.

Вступление. Опыт эксплуатации резьбовых соединений показывает, что примерно в 90% случаев их разрушение носит усталостный характер, что связано как с характером нагружения, так и конструктивными особенностями отдельных элементов соединений [1,2]. Как правило, разрушение происходит в области первого либо второго рабочих витков, реже – в области сбega резьбы либо в галтельном переходе опорной поверхности головки болта. Усталостное разрушение резьбовых соединений вызвано действием переменных напряжений, величина и характер которых зависят не только от параметров внешней нагрузки и величины предварительной затяжки, но также и от конструктивных особенностей элементов соединения, таких, как качество и способ получения рабочих поверхностей, наличие концентраторов напряжений, упругих характеристик отдельных элементов стыка, термической и химико-термической обработки поверхностей и т.д. Большинство из вышеперечисленных факторов трудно поддаются количественной оценке, и поэтому при расчетах, в каждом конкретном случае, требуется использовать индивидуальный подход, так как априори их точное значение неизвестно.

Анализ. При расчете резьбовых соединений с предварительной затяжкой решается статическая неопределимая задача, сущность которой сводится к рассмотрению совместности деформаций болтов (шпилек) и стыка в соединении, что в ряде случаев является неочевидным фактом. Кроме того, так как разрушение связано с усталостной прочностью, количественная оценка которой возможна только в вероятностной постановке из-за того, что все факторы, влияющие на этот процесс, подчиняются стохастическим законам, становится очевидным, насколько сложной задачей является изучение работы резьбовых соединений установленных с предварительной затяжкой.

Поэтому все вопросы, связанные с расчетом, проектированием, изготовлением, монтажом и мониторингом состояния в процессе эксплуатации резьбовых соединений ответственных узлов машин и агрегатов, является важной и актуальной проблемой современного машиностроения.

Обычно внешняя нагрузка, действующая на резьбовое соединение, определяется условиями эксплуатации и таким образом задана, а сила предварительной затяжки, которая может в значительной степени нивелировать вредное влияние всех остальных факторов на усталостную прочность болтов (шпилек), должна быть выбрана и проконтролирована с максимальной точностью. Однако в действительности, в зависимости от культуры производства, а также возможных последствий от разрушения резьбового соединения, предварительная затяжка выполняется как контролируемая, так и неконтролируемая.

Неконтролируемая затяжка используется только в неответственных соединениях [3], где последствия разрушения не являются критическими. Это связано с тем, что при затяжке стандартным ключом с плечом, равным 15 диаметров резьбы, и приложении окружной силы 0,25 кН, все болты с диаметром менее М12 испытывают перенапряжения, то есть имеют запас прочности менее единицы. Если используются удлинители ключа, а окружная сила прикладывается рывком, сила затяжки существенно повышается, а следовательно расширяется ряд болтов испытывающих перенапряжение, то есть получающих пластическую деформацию и изменяющих свои рабочие характеристики. Поэтому использование неконтролируемой затяжки резьбовых соединений должно быть исключено и, как правило, применяться только в ремонтных целях.

В ответственных резьбовых соединениях, особенно при использовании крупного крепежа, предварительная затяжка должна быть строго контролируемой, что существенно повышает несущую способность соединения. В этом случае предварительная затяжка определяет упругое взаимодействие различных частей соединения и обеспечивает плотность стыка при любом характере изменения внешней нагрузки. Структура напряженного состояния от предварительной затяжки предполагает перераспределение силовых потоков в соединении. Технологически возможны два способа получения контролируемой предварительной затяжки: тепловая и холодная.

Тепловая затяжка резьбового соединения обеспечивает создание осевого усилия за счет температурного изменения длины болта (шпильки) без механического воздействия на элементы соединения. При этом способ нагрева зависит как от типоразмеров болта, так и конструктивных особенностей соединения, а используемый источник нагрева определяется как условиями сборки, так и техническими возможностями производства. Относительная простота тепловой сборки при отсутствии силового воздействия на крепеж в момент его установки является несомненным

достоинством данного метода. Однако такой метод получения предварительной затяжки имеет и существенные недостатки, главными из которых следует признать следующие:

- необходимость использования специального крепежа, позволяющего его нагреть;
- наличие специальных нагревателей, учитывающих условия сборки;
- создание условий, регламентирующих скорость нагрева и охлаждения резьбового соединения;
- наличие сертифицированных методов контроля температурных и линейных параметров крепежа;
- обеспечение на сборочном участке повышенных требований по технике безопасности, пожаробезопасности и санитарным условиям проведения работ.

Сложность выполнения всех этих требований на участке сборки, а часто и невозможность реализации некоторых из них, существенно ограничивает область применения данного метода и в каждом конкретном случае требует проведения технико-экономического обоснования его использования.

В качестве альтернативного метода в таких случаях может выступать холодная затяжка резьбовых соединений, которая связана с вращением гайки (винта) и одновременным контролем силы затяжки, основанной на замерах: а) удлинения болта (шпильки), б) угла поворота гайки, в) крутящего момента при затяжке гайки.

Наиболее точно сила затяжки, действующая на болт F_3 , контролируется по удлинению болта Δl , которая определяется по разности величины базы измерения до и после затяжки

$$F_3 = \frac{\Delta l}{\lambda_s},$$

где λ_s - коэффициент податливости стержня болта.

Для коротких и средних болтов ($l \leq 6d$), у которых удлинение не превышает 20...60 мкм, во избежание значительных погрешностей измерения, следует учитывать деформацию болта в пределах резьбы путем добавления к расчетной длине $1/3$ высоты гайки, а для коротких шпилек – добавлением деформации стержня шпильки в пределах длины свинчивания.

При контроле силы затяжки по углу поворота гайки определяют фиксированный угол, при котором обеспечивается необходимое контактное напряжение в стыке

$$\phi = 360^\circ \frac{F_3}{S} \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

где $\sum_{i=1}^n \lambda_i$ – суммарная податливость болта и стягиваемых деталей;

n – число деталей в соединении; S – шаг резьбы.

Метод затяжки по углу поворота прост, не связан с силами трения и не зависит от индивидуальных особенностей резьбового соединения, однако сложность вычисления податливости стягиваемых деталей, определение начального угла ϕ_0 , при котором полностью выбираются зазоры в соединении, делает этот метод малоэффективным. Точность обеспечения заданного усилия затяжки при контроле по углу поворота гайки не превышает $\pm 20\%$. Данный метод не пригоден для соединений с короткими болтами, так как расчетный угол поворота гайки для таких болтов невелик и погрешность метода сказывается в наибольшей степени.

Наиболее прост для практики, а потому и широко распространен, контроль силы затяжки, основанный на замере момента затяжки с помощью тарированных ключей: динамометрических и предельных. Применение тарированных ключей основано на связи крутящего момента на ключе и усилия затяжки. Момент, приложенный к гайке, уравнивается моментами от сил трения в резьбе и на торце гайки, определение которых строится в предположении равномерного нагружения в сопряженных поверхностях. В действительности, контактные напряжения зависят от многих конструктивных и эксплуатационных факторов, учет которых представляет сложную техническую задачу. Коэффициенты трения зависят от удельного давления, наличия и вида покрытия, шероховатости поверхности, смазки, повторяемости сборки, скорости завинчивания, жесткости соединения и ряда других факторов. Связь между моментом и силой затяжки не остается постоянной. Анализ экспериментальных данных показывает, что эта зависимость не является устойчивой и обеспечивает точность получения усилия затяжки не более $\pm 30\%$.

Лучшие, по сравнению с контролем по моменту на ключе, результаты могут быть получены при затяжке резьбовых соединений комбинированным методом. При этом первоначальная затяжка до «нулевого» положения проводится тарированным инструментом, а дальнейшая затяжка контролируется по углу поворота. При указанном методе исключается произвольность отсчета «нулевого» положения угла поворота, а усилие затяжки не зависит от трения.

Все рассмотренные способы холодной затяжки, при простоте их реализации и возможности широкого использования, имеют очевидные недостатки. Главными недостатками являются значительное силовое воздействие на крепеж в момент его установки, а также необходимость косвенно определять силу предварительной затяжки в болте по вспомогательным параметрам, которые позволяют говорить о качественной оценке, а не количественной. Поэтому, для ответственных высоконагруженных резьбовых соединений, которые широко используются в таких отраслях промышленности как энергетическая, металлургическая, транспортная, спецтехника и другие, предпочтение следует отдать холодной затяжке с непосредственным контролем усилия на болте (шпильке). Перед затяжкой на расчетную величину целесообразно произвести осадку

соединения силой превышающей расчетную. Силовая осадка вызывает пластическую деформацию металла на участках точечного контакта и увеличивает релаксационную стойкость соединения. Силу осадки выбирают так, чтобы создать напряжение равное $0,6 \dots 0,8$ предела текучести материала болтов. Гайки закручивают в несколько приемов в определенной последовательности, после чего соединения выдерживают под затяжкой не менее $2 \dots 3$ часов, после чего гайки отпускают и закручивают снова на расчетную величину.

Наиболее полно этим требованиям отвечают гидравлические ключи, которые, несмотря на конструктивные отличия, функционально все идентичны: они обеспечивают деформацию болта (шпильки) сразу на величину, соответствующую необходимой расчетной предварительной затяжке. Таким образом, исчезает необходимость учета и контроля большого количества параметров, которые зависят как от конструктивных так и эксплуатационных особенностей резьбового соединения. Кроме того, при затяжке группы болтов появляется возможность равномерного их нагружения за счет одновременного подключения к одной гидростанции нескольких гидравлических ключей.

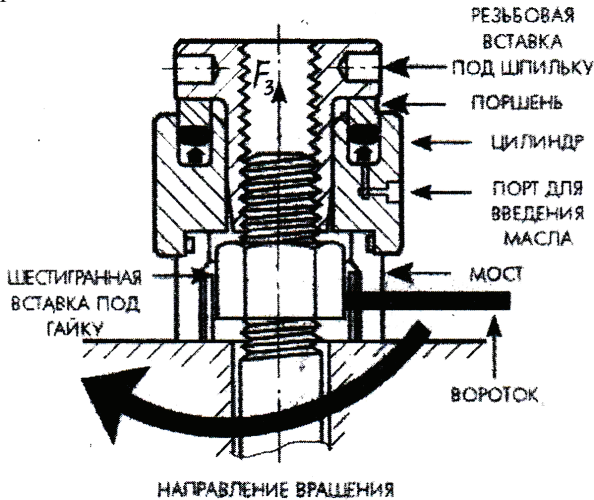


Рис. – Затяжка с использованием гидравлического ключа

Рисунок 1 иллюстрирует работу гидравлического ключа [4]. Соединив порт гидроключа с гидростанцией, за счет давления масла в гидроцилиндре возникает осевая сила на поршне, которая через резьбовую вставку передается на шпильку и, таким образом, на ней создается осевая деформация, которая эквивалентна необходимой предварительной затяжке. Вращая вороток с шестигранной вставкой без всякого сопротивления, опускаем гайку по резьбе до контакта торца гайки с опорной поверхностью,

после чего, убрав давление, можно снять гидравлический ключ и перейти к следующей шпильке.

Представленный гидроключ выпускается 7 типоразмеров, в которых за счет 20 сменных адаптеров и 10 мостов перекрывается весь перечень резьб от М20 до М100 и создается контролируемое осевое усилие от 200 до 15000 Кн с помощью гидростанции с номинальным давлением 80 МПа. Вся работа по установке и снятию гидроключа, а также обеспечению контролируемой затяжки выполняется одним рабочим и требует минимум времени. Гидравлический ключ может работать как независимый инструмент, а также в комплекте с другими, что позволяет при включении их по мостовой схеме обеспечивать эффект равномерного нагружения группы болтов (шпилек).

Выводы. Из анализа представленных технических решений следует:

- создание неконтролируемой предварительной затяжки неэффективно, а при использовании для мелкого крепежа до М12 недопустимо, так как может привести к статической потере прочности;

- горячие способы предварительной затяжки могут быть использованы только на специально оборудованных участках сборки и, как правило, для крепежа специально для этого приспособленного;

- холодные способы предварительной затяжки являются наиболее распространенными, могут быть реализованы на любых участках сборки, однако контроль силы затяжки достаточно сложен, когда необходимо его точное соответствие требованиям последующей эксплуатации крепежа;

- наиболее универсальным и легко реализуемым способом обеспечения контролируемой предварительной затяжки является использование гидравлических ключей, которые, обеспечивая высокую достоверность силы затяжки, являются безальтернативным способом монтажа групп болтов, установленных в ответственных соединениях.

Список литературы: 1. *Биргер И.А., Йосилевич Г.Б.* Резьбовые соединения.- М.: Машиностроение, 1973.-256с. 2. *Орлов П.И.* Основы конструирования. Кн -М.: Машиностроение, 1988.-544с.

Надійшла до редколегії 29.10. 2012

УДК 621.825

Анализ технических решений, обеспечивающих контролируемую предварительную затяжку резьбовых соединений / В. С. Гапонов, Ю. Д. Музыкин, В.В. Татьков, Г.Г. Кулик // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2012. – № 53(959). – С.92-97. – Бібліогр.: 2 назв..

Показано технічні рішення, що забезпечують попереднє затягування в нарізних сполученнях, а також запропоновані шляхи їхньої реалізації в сучасному виробництві. Зроблено висновки про найбільше універсальним спосіб контрольованої попередньої затяжки є спосіб за допомогою гідравлічного ключа.

Ключові слова: нарізні сполучення, болтове з'єднання, гідравлічна гайка, щільність стику

Showing technical solutions that provide pre-tightening in the threaded connections, as well as the ways of their realization in the modern workplace. The conclusions of most white

versatile way earlier tightening is controlled manner using a hydraulic wrench.

Keywords: threaded connections, bolted connections, hydraulic nut, density junction