

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».

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ, УСТАНОВЛЕННОГО В РОТОРНОЙ СИСТЕМЕ

Для роторных систем с элементами резьбовых соединений показаны особенности прогнозирования усталостной прочности болтового крепежа при работе с переменными нагрузками.

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

Вступление. Особенность прогнозирования ресурса болтового соединения, установленного в роторной системе, связана с наличием вращательного движения, которое, в зависимости от расположения оси вращения, может существенно изменять условия нагружения крепежа в соединении. Кроме того, существующие отклонения параметров соединения от номинальных, которые связаны как с конструкцией узла, так и с точностью изготовления и монтажа крепежа, приводят к росту нагруженности элементов соединения. Так, увеличение эффекта изгиба болта связано с непараллельностью опорных поверхностей и наличием упругих деформаций соединяемых деталей; возникновение продольных сил в статически и динамически неуравновешенных роторах возникает после их упругой деформации; появление дополнительных динамических сил в деталях типа "диск" объясняется их работой в роторном режиме и так далее. Кроме того, динамика нагружения усиливается из-за цикличности воздействия внешних нагрузок, которая зависит как от частоты вращения ротора и частот, кратных ей, так и от частот композитных колебаний, которые равны сумме или разности частот вращения и кратных им частот. Все эти эффекты вызывают переменные напряжения растяжения, изгиба и кручения, которые, как следствие, приводят к усталостному разрушению элементов болтового соединения, а их расчет на усталостную прочность является технически сложной задачей, требующей комплексного подхода ко всем параметрам, влияющим на ресурс работы элементов соединения.

Анализ основных достижений и литературы. Усталостное разрушение болтовых соединений является результатом действия повторно-переменных нагрузок, величина и характер которых зависят не только от параметров внешней нагрузки и конструктивных особенностей соединения, но и величины предварительной затяжки.

Величину предварительной затяжки устанавливают из условия плотности стыка, что является обязательным требованием для обеспечения прочности резьбового соединения, так как при этом структура напряженного состояния в стыке претерпевает перераспределение силовых потоков, а это способствует уменьшению вероятности его разрушения (рис.1)

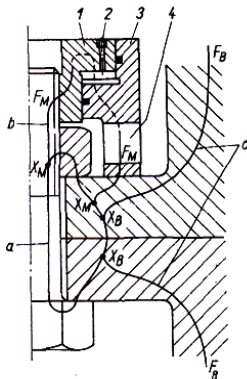


Рис. 1 – Затяжка с использованием гидравлической гайки: 1 – гайка гидросистемы; 2 – порт для введения масла от гидростанции; 3 – корпус гидросистемы; 4 – монтажное окно

На рис.1 представлена схема перераспределения силовых потоков, возникающих в месте установки болтового соединения с предварительной затяжкой при использовании гидравлической гайки [1,2]. Наличие силы затяжки F_M и предварительной силы затяжки в болте F_B создают соответственно силовые потоки, начальные значения которых – X_M и X_B , а их развитие характеризуется кривыми a , b , c которые вызваны предварительной затяжкой, монтажным натягом и внешней силой. При определении силы предварительной затяжки болта решается статически неопределимая задача, сущность которой сводится к рассмотрению совместности деформации болта и стыка в соединении. Перераспределение монтажного усилия F_M между болтом и телом детали показано на диаграмме предварительной затяжки (рис.2).

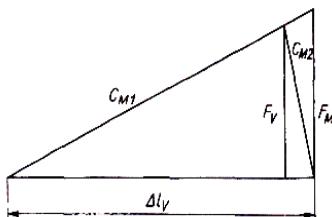


Рис. 2 – Силы и деформации в резьбовом соединении при предварительной затяжке.

Полная деформация растяжения болта Δ'_v под действием силы затяжки F_M перераспределяется между элементами соединения в соответствии с их жесткостью и в качестве остаточной на болте составит F_U .

Для рассмотренного случая приведенная жесткость болта и тела детали составит:

$$C_{M1} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{2}{C_4} + \frac{1}{C_6} \right)^{-1}; \quad C_{M2} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{2}{C_4} + \frac{1}{C_5} \right)^{-1},$$

где $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ – коэффициенты жесткости соответственно резьбы, винтовой пары, гайки, контактных поверхностей фланцев, приведенной для соединяемых фланцев, болта. Определение значений указанных параметров представляет значительные трудности, так как они зависят не только от материала, но и геометрии элементов соединения.

Так как разрушение болтовых соединений роторных систем связано с усталостной прочностью, базовые положения которой существенно отличаются от других разделов инженерной механики, необходимо признать, что полученные результаты очень часто носят качественный характер, а рассчитанные количественные оценки следует воспринимать только в вероятностной постановке. Поэтому для этих расчетов большое значение приобретают рекомендации эмпирического характера [1]. Существующие методы расчета на усталостную прочность позволяют вести их по предельному числу циклов только для относительно простых деталей, которые идентичны по форме стандартным образцам. При расчете сложных конструкций, когда требуется обеспечить работоспособность не по предельному числу циклов, а по заданному ресурсу, основная трудность заключается в принятии критерия, характеризующего усталостную прочность. Физическое значение этого критерия должно учитывать влияние на него таких параметров, как свойства материала, макро и микрогеометрия соединения, особенность технологического процесса изготовления и сборки, а также оценивать в каждом конкретном случае удельный вес каждого из них.

Расчет усталостной прочности резьбовых соединений для определения их ресурса основан на диаграмме предельных амплитуд, которая описывает зависимость наибольшей несущей способности в зависимости от асимметрии цикла, то есть охватывает весь диапазон средних и амплитудных значений цикла. Точность построения этой диаграммы определяет достоверность результата расчета, а она может быть получена только экспериментальным путем.

Наиболее достоверные результаты, связанные с изучением усталостной прочности, могут быть получены либо при натурных испытаниях, либо при испытании натуральных образцов резьбовых соединений, установленных на

стенде, имитирующем условия эксплуатации. Однако как первый, так и второй способы для болтового крепежа крупных роторных машин в большинстве случаев не могут быть реализованы как из-за технических трудностей, так и экономической нецелесообразности. Поэтому, несмотря на относительно невысокую достоверность полученных результатов, на практике широко используются расчетные методы прогнозирования усталостной прочности болтовых соединений при условии обеспечения мониторинга равномерности затяжки болтов при монтаже и режимов их нагружения в процессе эксплуатации.

Выводы. Прогнозируя усталостную прочность (ресурс) болтового соединения, работающего в роторной системе, необходимо:

- поставить и решить задачу подобия, для чего определить критериальные комплексы подобия, учитывающие свойства материала, конструктивные параметры и технологические особенности деталей рассматриваемого соединения;

- провести анализ возможных деформаций в стыке болтового соединения и рассмотреть условия возникновения динамического раскрытия стыка;

- исследовать усталостную прочность болтового соединения на границе динамического раскрытия стыка;

- определить необходимые параметры и способы их контроля для проведения мониторинга в процессе монтажа и эксплуатации болтовых соединений.

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

Надійшла до редколегії 29.10. 2012

УДК 621.825

Особенности прогнозирования усталостной прочности болтового соединения, установленного в роторной системе / В. С. Гапонов, Ю. Д. Музыкин, В.В. Татьков, Г.Г. Кулик // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХП», 2012. – № 53(959). – С.88-91. – Бібліогр.: 2 назв.

Для роторних систем з елементами нарізних сполучень показані особливості прогнозування втомлювальної міцності болтового кріплення при роботі зі змінними навантаженнями. Зроблено висновок щодо заходів прогнозування втомлювальної міцності болтового з'єднання.

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

For the rotor systems with the elements of the threaded connections the features of prognostication of tireless durability of screw-bolt roofing timbers are shown during work with the variable loading. This highlights the strength of predictive vtomlyuvalunoyi bolted connection.

Keywords: bolted connection, hydraulic nut, the density of the junction.