

Доминик Ж., д. н., Компания «FERODOM»
Поляк С., д. н., Университет, г. Жилина, Словакия

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТОПОРНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ДЛЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Нет такого универсального предохранительного устройства, эффективного одновременно для всех аварийных случаев.
К.О. Бауер [1]

Как известно, резьбовые соединения под воздействием динамической нагрузки и вибраций проявляют тенденцию к самопроизвольному ослаблению. Это свойство представляет большую опасность, так как может в результате привести к выходу из строя резьбовых соединений и конструкций. Известны также и более или менее эффективные предохранительные меры. Традиционный рынок предлагает широкий ассортимент стопорных элементов, используемых для обеспечения надёжности конструкции. Однако эффективны ли все эти элементы и меры? Обладают ли все они необходимыми качествами? Так как эта тема в высшей степени важна и актуальна, мы решились высказать своё мнение по этому вопросу.

Введение

Резьбовые соединения подвергаются в ходе эксплуатации воздействию различных внешних статических

или динамических нагрузок, таких как растяжение, давление, сдвиг, изгибание, скручивание, к тому же, большей частью, в комбинации друг с другом [2]. Такие внешние нагрузки существенно влияют на изначальное состояние выполненной при монтаже затяжки. Речь идёт о наложении внутренних (монтажных) и внешних (эксплуатационных) воздействий, которые в итоге и определяют всю совокупность требований относительно резьбовых соединений [3].

В результате теряется значительная часть силы предварительной затяжки, возможно даже полное разрушение соединения. Процесс самопроизвольного ослабления затяжки проходит в три общеизвестных этапа — ослабление, отвинчивание и потеря [3]. Во избежание этого принимаются определённые меры, протестированные в лабораторных условиях. Для тестирования можно использовать три принципиальных способа проверок (рис. 2).

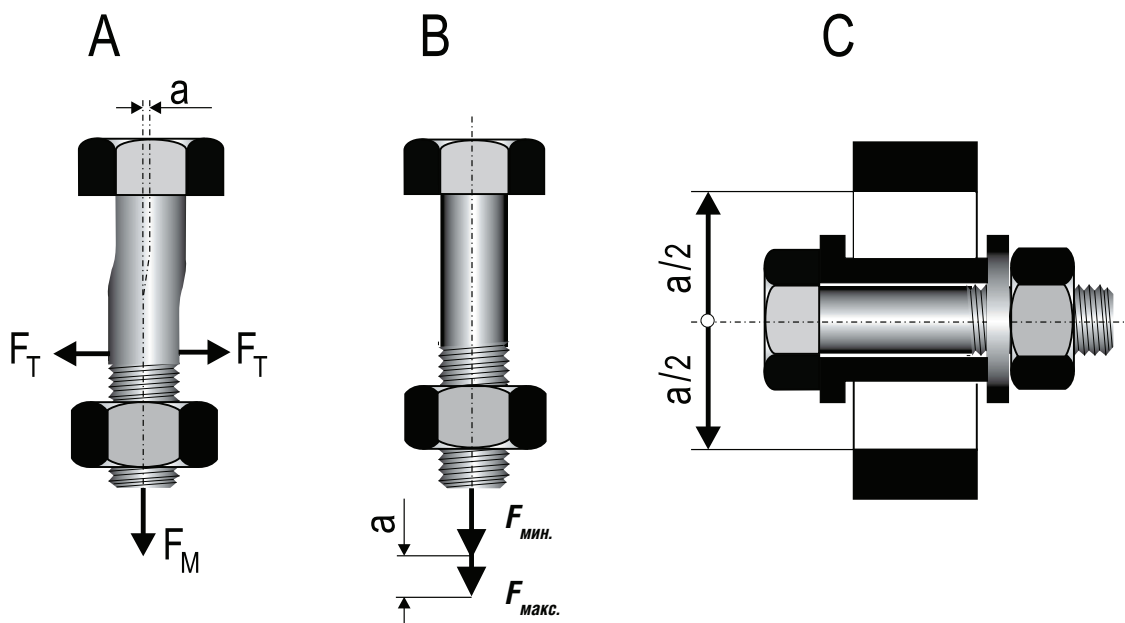


Рис. 1. Способы испытания резьбовых соединений

A — динамическая радиальная нагрузка, B — динамическая аксиальная нагрузка,

C — вибрационный метод (NAS 3350); a — амплитуда, F_M — монтажное усилие, F_T — радиальное усилие

Тип А (метод Junker или Unbrako) использует принцип переменной циклической радиальной нагрузки, тип В (рис. 2) основан на переменной аксиальной нагрузке, и С (NATIONAL AEROSPACE STANDARD 3350/3354, США) представляет собой чисто вибрационный метод, ориентированный на горизонтальное или вертикальное приложение [4].

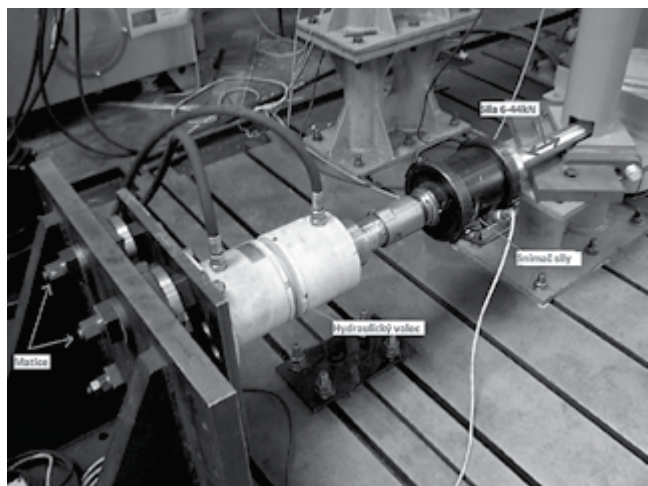


Рис. 2. Устройства для динамических испытаний аксиально направленной нагрузкой

Следует отметить, что для этого метода не существует нормы, есть только рекомендации. Каждый может сам принять решение относительно того, каким методом испытания воспользоваться.

При всех методах уменьшение усилия предварительной затяжки отслеживается по времени или количеству нагрузочных циклов при определённой частоте и амплитуде и регистрируется. Затем полученные результаты измерений сравниваются между собой и оцениваются (рис. 3, 5). На практике резьбовое соединение принято считать надёжным, если уменьшение усилия предварительной затяжки составляет не более 20 %.

Из анализа различных нагрузок на резьбовые соединения, выполненного в условиях, ограниченных возможностями методов испытания, становится очевидным, что воссоздать в лаборатории фактические условия эксплуатации весьма проблематично. Результаты были бы объективными при использовании для проверки всех методов измерений. Каждый отдельный метод не обязательно даёт характеристику какой-то конкретной нагрузки. Отсюда вытекает возможность ошибочной интерпретации результатов измерений. Далее приведены некоторые примеры таких спорных моментов.

Спорный момент № 1

Обязательными для всех являются испытания моделей на стабильность стопорных элементов, противостоящих воздействиям динамической нагрузки и вибраций. При этом намеренно или в связи с неосведомлённостью упускается факт о том, что в реальных условиях эксплуатации данные конструктивные узлы могут испытывать другой тип нагрузки, противоположный запланированному для испытаний. В качестве примера здесь можно привести стопорные шайбы с эффектом «клина» NordLock (NL) (см. рис. 4), действующие по тому же принципу Disc-Lock или TS.



Рис. 4. Пара стопорных шайб NL с эффектом «клина»

Этот стопорный элемент превосходно противостоит переменным радиальным нагрузкам (Junker Test). Однако, как было доказано [6], по стандарту NAS 3350 он оказался на редкость неэффективным при воздействии чистых вибраций. Стопорные элементы замкнутой формы, такие как шайбы, гайки или винты с зубчатыми



Рис. 3. Уменьшение усилия затяжки резьбового соединения после испытания динамической аксиальной нагрузкой EDYZ (M20, кл. 10) [5]

(ребристыми) фланцами, чувствительны к переменной аксиальной нагрузке в случаях, если установленная амплитуда превышает глубину вхождения рёбер в контактную поверхность частей.

В отношении NL примечательно, что они монтируются парами под головкой болта и гайкой. Для резьбового соединения это означает наличие в общей сложности 6 стыковых поверхностей. Каждый стык характеризуется некой посадочной величиной, которая прибавляется к общей посадочной величине (уменьшение усилия затяжки на первом этапе самопроизвольного ослабления винтов). Так как NL проходят испытание Junker Test только попарно, результаты не всегда соответствуют действительности.

В действительности посадочная величина больше, чем указано. В результате отдельных экспериментов по методу Junker Test (рис. 5) установлено следующее.

Сочетание меняющихся нагрузок при слишком большом количестве стыковых поверхностей может привести к деформации монтажных отверстий, например, на дисках автомобильных колёс (рис. 6).

Спорный момент № 2

Сомнение вызывает объективность обнародованных экспериментов. В большинстве случаев источником опубликованных сведений является сам автор «варианта-победителя». Производители и дистрибьюторы никогда не сравнивают собственную продукцию с фактическими конкурентами. Большей частью это лишь конфронтация с наиболее слабыми «игроками» рынка, такими, как, например, стопорные гайки по германскому промышленному стандарту DIN 985, разомкнутые пружинные шайбы по DIN 127, контргайки и т. д., которые в этом случае выступают исключительно в роли, так сказать,

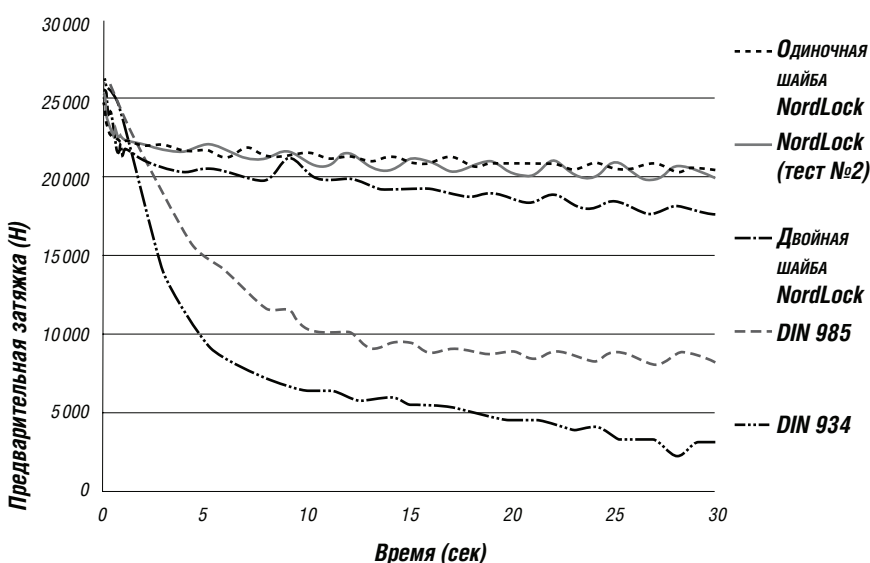


Рис. 5. Испытание по Юнкеру (Junker's test 70% $R_{p0.2}$ M10-8Zn, 20 Гц, $\pm 0,5$ мм)

«козла отпущения». Мало где в литературе можно найти корректные сравнения, например, различных типов фиксаторов замкнутой формы друг с другом. Попытка проявить объективность отмечалась в издании [7], к сожалению, она сохранилась только в виде эксперимента. Эта книга, что удивительно, опирается на старые библиографические ссылки. По меньшей мере, глава «Фиксация винтовых соединений» не соответствует нынешнему состоянию техники.

Спорный момент № 3

Парадокс, но, несмотря на отрицательные отзывы в литературе, стопорные гайки DIN 985 с нейлоновым вкладышем очень популярны и считаются относительно надёжным конструктивным элементом. Этот же парадокс свидетельствует и о небесспорной объективности испытаний моделей. В этом случае практика не очень-то им верит. В отношении упомянутых стопорных гаек следует ещё добавить, что их критическими параметрами являются не недостаточная фиксирующая способность, как полагают некоторые, а чувствительность к изменениям температуры, затруднённая затяжка и проблематичная воспроизводимость (см. DIN EN ISO 2320, что указывает на весьма незначительное зажимное усилие при многократном выполнении монтажа). Достаточно слишком быстрого завинчивания, чтобы образующееся тепло повлияло на коэффициент трения вплоть до повреждения нейлона (рис. 7).

Исходя из принципа действия этих гаек, можно предположить, что их фиксирующая способность при переменной аксиальной нагрузке мало зависит от амплитуды, в отличие от элементов замкнутой формы в той же ситуации.

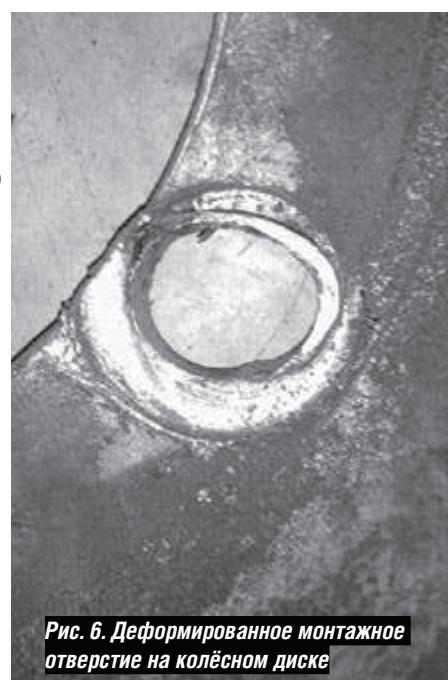


Рис. 6. Деформированное монтажное отверстие на колёсном диске

Таблица. Фиксирующая способность некоторых соединительных элементов

Стопорный элемент	Критический параметр	Метод испытания в соответствии с рис. 1		
		А	В	С
 NordLock (Disc-Lock, TS)	Зависимость от амплитуды аксиальной нагрузки	Отл.	В зависимости от амплитуды	Слаб.
 Ребристая (зубчатая) шайба	То же	Отл.	В зависимости от амплитуды	–
 Гайка с ребристым (зубчатым) фланцем	То же	Отл.	В зависимости от амплитуды	–
 Гайка высокая разрезная с пружиной	Разброс характеристик	Удовл.	Удовл.	–
 DIN 985	Чувствительность к температуре	Удовл.	Удовл.	Удовл.
 DIN 127	Разброс характеристик	Удовл.	В зависимости от амплитуды	Слаб.
 Резьба с клеящим веществом	Чувствительность к температуре, воспроизводимость	Отл.	–	Отл.

Отл. — превосходный фиксирующий эффект; Удовл. — средний показатель; Слаб. — слабый фиксирующий эффект или отсутствие его.

Сравнение стопорных элементов

На основании полученных сведений мы попытались по возможности максимально объективно оценить наиболее часто используемые стопорные элементы. Результат представлен в *таблице*.

Как видно, наибольшей зависимостью от метода испытания, а также от типа переменной нагрузки обладают стопорные элементы замкнутой формы и разомкнутые пружинные шайбы. Относительно универсальными, хотя только со средними показателями, выглядят динамически связанные стопорные элементы (гайка высокая разрезная с пружиной). Несмотря на температурную зависимость и практически отсутствующую воспроизводимость, относительно эффективным является и анаэробная фиксация за счёт клевого слоя. Стопорные элементы замкнутой формы более эффективны на поверхностях, имеющих смазку.

Выводы

Вибрационная надёжность резьбовых соединений в значительной степени зависит от типа переменной нагрузки. Каждый конструктор должен быть весьма осторожен при выборе мер по обеспечению надёжности. Важно учитывать условия эксплуатации, под воздействием которых будущая конструкция будет находиться. При выборе соответствующих мер следует исходить именно из этого.

Дополнительно можно добавить, что результаты лабораторных испытаний зависят ещё и от параметров отдельных экспериментов. Роль играют не только соответствующие частота и амплитуда, но и момент затяжки, коэффициент трения, диаметр, а также температурные условия. Отсюда следует: окончательные результаты подтверждает только практика. И всё же

лабораторные испытания имеют своё значение, так как они предоставляют много полезной информации и выявляют некоторые фактические данные.

Литература

1. BAUER, C. O. und Koll: Handbuch der Verbindungstechnik, Carl Hanser Verlag, 1991
2. VDI 2230 — Richtlinie, 2003
3. DOMINIK, J.: Technologie der Gewindeverbindungen, Ferodom 2008
4. POLJAK, S.: Dissertationsarbeit, 2009, University of Žilina, Slowakei
5. DOMINIK, J. und Koll.: Tribologische Aspekte der IstLock — Schraubensicherung, vorbereitet für Tribotechnika 3/2010
6. SAWA, T. and Koll.: „Experimental Evaluation of Screw Thread Loosening...“, In: Hard Lock Technical Reports, 2007, Vol. 2
7. ILLGNER, K. H., ESSER, J.: Schraubenvademecum, Textron Verbindungstechnik, 2001



Рис. 7. Стопорная гайка DIN 985 с повреждённым нейлоновым кольцом